Г. Н. ЛЬЮИС

АНАТОМИЯ НАУКИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Г. Н. ЛЬЮИС

АНАТОМИЯ НАУКИ

С ПРЕДИСЛОВИЕМ
М. Л. ШИРВИНДТА

ПЕРЕВОД ПОД РЕДАКЦИЕЙ
АКАДЕМИКА А. Ф. ИОФФЕ

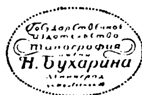


ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1929 ЛЕНИНГРАД

THE ANATOMY OF SCIENCE

BY

GILBERT N. LEWIS



82 × 111—9½ л. Н. 11. Гиз № 26341/Л.
Ленинградский Областлит № 24797.
Тираж 2000.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Книга известного американского химика Льюиса „Анатомия науки“, предлагаемая вниманию русских читателей, представляет большой интерес благодаря блестящему и остроумному изложению основных вопросов, волнующих передовую научную мысль. Хотя автор рекомендуемой нами книги является, по специальности, химиком, но он чувствует себя почти „как дома“ в самых различных областях так называемого „точного знания“. Такая эрудиция позволяет ему останавливаться на существенных вопросах, касающихся принципиальных основ науки, и при изложении их сочетать в одинаковой мере глубину и ясность.

Свою книгу Льюис предназначает для подготовленного читателя; этим объясняется то, что книга, несмотря на свою изумительную ясность, никак не может быть названа популярной. Задача, которую поставил себе наш автор, заключается не в том, чтобы популярно изложить „итоги“ современной науки, — его цель исследовать структуру научного знания. Книга Льюиса является даже до некоторой степени „программной“, она говорит о том, что думает современный ученый о принципиальных основах науки.

В связи с этим нельзя не отметить один положительный факт. Традиционный „англо-саксонский“ эмпиризм оказал на Льюиса значительно меньшее влияние, чем можно было ожидать.

К Льюису меньше всего относится упрек, сделанный Дьюи на последнем международном философском конгрессе. Дьюи, как известно, заявил, что пока американцы будут слепо привержены фактам, смысла которых они не понимают и не стремятся понять, они

не будут иметь ни искусства ни науки большого стиля. Надо отдать справедливость Льюису — в своей книге он как раз стремится понять и осмыслить новые факты, открытые наукой. Его ошибки, а их в книге не мало, являются либо результатом слишком поспешных обобщений, либо объясняются боязнью круто разорвать с традициями естественно-научного мышления. Ошибки Льюиса интересны тем, что они наглядно показывают, насколько современное естествознание нуждается в адэкватном ему философском методе. В этом смысле книга Льюиса принесет большую пользу всем интересующимся диалектическим материализмом. Она привлекает внимание к действительным трудностям, возникшим в процессе развития нашего знания, трудностям, требующим для своего преодоления напряженной творческой работы диалектической мысли.

Проблемы, которые больше всего интересуют Льюиса, связаны с принципом относительности, квантовой теорией и статистической механикой.

Принцип относительности, как известно, радикально изменил наши взгляды на пространство, время, движение и тяготение, сведя до известной степени физику к геометрии.

Основываясь на воззрениях Минковского, Льюис предлагает новый тип неэвклидовой геометрии, в которой гиперболическое вращение равнозначно циркулярному, принятому в прочих геометриях. В III, IV и V главах своей книжки Льюис очень остроумно показывает, что его геометрия весьма удачно интерпретирует основные положения современной механики и физики. В частности, „знаменитое“ Лоренцово „сокращение“, неоднократно геометрически интерпретированное, находит в новой геометрии вполне ясное и адэкватное выражение. Основываясь на своих геометрических построениях, Льюис пытается найти общий принцип, объединяющий поле тяготения и электромагнитное поле. Эту проблему Льюис решает в духе Декарта, отождествляя материю, изучаемую механикой и физикой, с протяженностью. С точки зрения автора „Анатомии науки“ механика и физика изучают, по существу, метрические свойства привилегированных мест пространства, и в этом

смысле обе указанные нами науки сводятся к геометрии. Правда, Льюис в конце IV главы своей книги как будто указывает на опасности, вытекающие из чрезмерной геометрической схематизации. Он иронизирует над дискуссиями о „мировой геометрии“. Но эта ирония не мешает ему несколькими страницами дальше полностью „геометризировать“ теорию квант. Здесь Льюис приносит в жертву всеобщей геометризации идею причинности. Понятно почему, — геометрия не знает прошлого, настоящего и будущего. Время Минковского — мнимое время, по своей сущности оно только четвертая пространственная координата. Причинность же отличается от геометрической последовательности тем, что в свое понятие она включает определение времени. Между причиной и действием протекает реальное время, ибо переход от причины к действию связан с развитием, т. е. с возникновением нового, раньше не бывшего. Геометризм Льюиса объясняется, главным образом, тем, что он движение понимает так, как его обычно понимают физики. По этому поводу весьма уместно вспомнить слова Энгельса в „Диалектике природы“: „У естествоиспытателей движение всегда понимается как механическое движение, перемещение. Это перешло по наследству из дохимического XVIII столетия и сильно затрудняет ясное понимание вещей. Движение в применении к материи — это изменение вообще“.

Отождествление движения с пространственным перемещением неизбежно приводит к устранению реального времени, обусловленного изменчивостью бытия. Механика изучает абстрагированное от развития движение, тождественное с пространственным перемещением и поэтому сводимое к образам геометрии. Но нельзя безнаказанно отождествлять абстракцию с действительностью. Сам Льюис это понимает и неоднократно подчеркивает, что математика и механика — науки, основанные на очень утонченной и далекой от действительности абстракции. И все же парадоксы, на которых он останавливается в доказательство своих выводов, как раз являются результатом непозволительного отождествления абстракции с реальностью. Возьмем

хотя бы пример с путешественником, мчащимся с колоссальной быстротой в междупланетном пространстве. Конечно, когда по часам такого путешественника пройдет 10 лет, на земле пройдет 100, но вопрос, удлинится ли его жизнь от быстроты путешествия. Конечно нет. Бедняге придется с грустью примириться с преждевременной старостью, наступающей „сразу" через несколько лет после „бурно проведенной в ядре" молодости. Если наш воображаемый путешественник является не только астрономом, но и физиологом, ему не трудно будет построить теорию, согласно которой быстрота движения, начиная с известной скорости в сильнейшей степени влияет на темп жизненных процессов и почему-то до крайности „удлиняет" переживаемое психологически время. Одним словом, известные парадоксы теории относительности, дань которым отдает также и Льюис в своей книге, возникают при отождествлении измеряемого времени и пространства с реальным пространством и временем. Отвлекаясь абсолютно от времени и развития в первых главах своей книги, Льюис совершенно естественно встречается с непреодолимыми затруднениями, когда он подходит к биологическим явлениям. Этим объясняются его странные поправки к теории статистической закономерности, поправки, суть которых заключается в том, что живые существа представляют собой какое-то исключение из законов природы, являясь, по его выражению, „шулерами" в игре физики и химии.

Но ведь сам же Льюис в VI и VII главах своей книги с большим талантом показывает, как из случайности возникает необходимость, и благодаря количественному усложнению данных качеств появляются новые качества.

В этом отношении его книга блестящий пример того, как крупный ученый вынуждается фактами науки стать на путь стихийной диалектики.

Объективный смысл многочисленных и ярких научных иллюстраций, приведенных Льюисом в этих главах, заключается в том, что: 1) случайность и необходимость — это две стороны единства, называемого нами закономерностью, 2) количество переходит в качество и обратно (более точно — одна „мера", употребляя гегелев-

ский термин, путем количественного изменения переходит в другую „меру“).

У Льюиса нет отчетливого и ясного понимания указанных нами философских принципов, непосредственно вытекающих из его научных иллюстраций. Потому он останавливается так беспомощно перед явлениями жизни, колеблясь (в VIII непереведенной главе) между механистами и виталистами, не зная как назвать свою точку зрения.[1] И, действительно, взгляд Льюиса на происхождение жизни чрезвычайно неясен и даже заставляет его притти к совершенно мистическим выводам по вопросу о свободе воли. В этом смысле восьмая, заключительная глава „Анатомии науки“ вносит резкий диссонанс в содержание превосходной книги. Для русского читателя она не представляет никакого интереса ни фактического, ни теоретического. Между тем, применяя вышеуказанные принципы к фактам, им самим приведенным, Льюис должен был бы, казалось, сделать следующие выводы: 1) Несмотря на то, что жизнь возникает случайно при стечении определенных внешних условий, возникновение ее тем не менее необходимо, ибо вероятность определенной физико-химической комбинации с течением времени возвышается до степени необходимости. 2) Жизнь в этом смысле является завершением физико-химической эволюции, завершением необходимым, вытекающим из ее сущности, но осуществляющимся реально посредством случайности (внешних условий, которые сами, конечно, являются результатом струи необходимости, пробивающей свой путь через поток случайностей). 3) Количественное усложнение физико-химических качеств материи приводит на известной ступени развития к новой закономерности (биологической), возникшей из физико-химической закономерности, но качественно отличной от нее и образующей специфичную сущность тех частей материи, которые называются нами живыми организмами. Эта сущность определяет особенности эволюционного пути

[1] Эта глава, трактующая о жизненных явлениях, опущена издательством, как не имеющая органической связи с предыдущими главами этой книги.

живой материи, отличного от физико-химической эволюции неорганического мира.

Ошибка виталистов вытекает из игнорирования количественной стороны развития, ошибки механистов – из непонимания природы качества.

Сила и слабость книги Льюиса в стихийной диалектике. В предисловии автор говорит: „...может быть внимательный читатель усмотрит между строками ее начала некоторой философской системы, и смею думать, принятой многими учеными. Она так же далека от вульгарного материализма, традиционно приписываемого ученым, как и от тонко замаскированной теологии классической метафизики“. Действительно, Льюис далеко отошел от вульгарного материализма, не примкнув вместе с тем и к идеализму. Но оставаясь стихийным и только стихийным диалектиком, он не мог, конечно, преодолеть ни идеализма, ни метафизического материализма.

М. Л. Ширвиндт.

Г. Н. ЛЬЮИС

АНАТОМИЯ НАУКИ

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА.

Быть может могучее, свойственное всему живому стремление населить землю привело человечество к современному движению в промышленности, при котором рост производства не исключает возможности предоставить средства к существованию всему человечеству, при любом темпе роста населения.

Однако, какова бы ни была движущая сила, она привела нас постепенно и вместе с тем неожиданно к состоянию обобществления, которое во многих отношениях пошло значительно далее требований профессиональных социалистов.

Девизом этого движения было: „путем специализации—к достижениям", и мы все сделались специалистами.

На ряду с мастером, проводящим дни за вытачиванием мелких деталей для какого-то механизма, которого он, может быть, никогда и не увидит, мы видим и ученого, который проводит свою жизнь за изучением ничтожной частицы человеческой культуры или за повторным применением какого-либо лабораторного метода.

Выдающаяся роль науки в этом процессе индустриализации понятна широким кругам.

Публика, вовсе не интересуясь духом и методами науки, все же сочувственно следит за ее техническим применением и с увлечением читает о новой вакцине,

которая избавляет человечество от какого-нибудь смертельного недуга, о новом топливе или новой машине и даже о чудесных запасах энергии, скрытых внутри атома, которые, может быть, когда-нибудь будут выпущены на свободу и использованы для нужд еще более грандиозной промышленности. Но, несмотря на то, что все мы обязаны итти в ногу со всем человечеством в этом общем марше, все же встречаются люди более философски настроенные, которые с налетом сожаления оглядываются на прошлые дни, когда промышленность была развита значительно слабее, но зато каждый заинтересованный ею мог легко проследить различные стадии производства какого-либо сложного продукта, а иногда даже внести полезное изменение в самый производственный процесс.

Для тех, кто интересуется не столько „продуктами“ науки, сколько ее методами, я предлагаю заглянуть внутрь самой мастерской ученого — на его приемы, орудия производства и сырые материалы.

Однажды, когда я проходил через старое кладбище в Уотертоуне штата Массачузет, я прочел на надгробной надписи одного священнослужителя, что он был „рачительный и горестный проповедник“.

Я не слишком сомневаюсь в том, что это было правдой, даже в современном смысле, хотя в духе того времени было выражать свое уважение к важнейшим жизненным проблемам тяжеловесным стилем и торжественной лестью.

Теперь моды изменились, и меня не будут подозревать в легкомыслии, если я в обычном шутливом тоне приступлю к наиболее серьезным вопросам, вытекающим из изучения мира природы.

Я постараюсь не быть горестным, но достаточно рачительным. Хотя я обращаюсь преимущественно

к аудитории не специалистов, однако я нигде не скрывал трудностей, а также нигде я ради простоты не жертвовал строгостью умозаключений. Кроме того, я частично обращаюсь также и к специалистам, надеясь, что они смогут найти в некоторых главах какие-либо новые факты или методы.

Было бы верхом самонадеянности объявить, что в этих простых очерках, которые были издателями доведены до размеров книги лишь благодаря щедрым промежуткам между строками, — содержится нечто похожее на философскую систему. Но, может быть, внимательный читатель усмотрит между строками ее начала некоторой философской системы, смею думать, принятой многими учеными.

Она так же далека от вульгарного материализма, традиционно приписываемого ученым, как и от тонко замаскированной теологии классической метафизики.

Беркли. Калифорния.
14 июля 1926.

I. МЕТОДЫ НАУКИ. ЧИСЛА.

Сила науки в ее непосредственности. Наука похожа на жизнь. Если бы мы стали в жизни заранее предусматривать все препятствия, которые могут встретиться на нашем пути, то мы не сумели бы преодолеть даже первое из них, а вместо этого мы остановились бы и погрузились в сосредоточенные размышления о своих силах.

Средний ученый, не вооруженный мощными линзами философии, представляет собой близорукое создание и смело бросается на каждое препятствие в надежде на то, что оно может оказаться последним. Он не уделяет внимания точному анализу своих методов. Да, пожалуй, если бы он слишком хорошо познал самого себя, он потерял бы свою силу, вроде легендарной стоножки, которая, после слишком глубокого анализа собственных методов движения, нашла, что больше не может ходить.

Однако художник после мучительно творческих усилий отступает от своего мольберта, чтобы охватить сразу одним взглядом все свое произведение. Точно также, пожалуй, было бы не бесполезно и для ученого время от времени забывать свою узкую специальность, для того чтобы сразу осмотреть все поле науки.[1]

---

[1] „... подобные умозаключения должны время от времени видоизменяться и подвергаться пересмотру. Тогда только наши познания станут глубокими и вразумительными". Francis Bacon. „Novum Organum".

Мах говорит: „каждый философ имеет свою собственную науку, а каждый ученый свою личную философию", намекая на то, что наука и философия в данном случае довольно примитивны.

Почему бы нам не попытаться создать амальгаму из того и другого, заимствовав у науки ее творческую силу, пусть даже с небольшой долей наивной непосредственности, а у философии ее широту, хотя бы вместе со свойственной ей долей скептицизма.

Для того чтобы подвести какой бы то ни было исторический итог развития научных концепций, потребовался бы объем значительно больший, нежели объем этой книжки, и осведомленность автора, значительно превосходящая мою.

То, что я намерен предложить, представляет собой нечто вроде поперечного разреза, показывающего строение современной науки.

Такое представление по необходимости будет иметь до некоторой степени субъективный оттенок. Я знаю, что я часто буду повторять то, что уже было сказано до меня, главным образом авторами мне неизвестными, но я могу себя утешать надеждой, что кое-что из того, что я скажу в дальнейшем, повторит, в свою очередь, кто-нибудь независимо от меня.

Я хотел бы поместить слово „Метафизика" на заголовке этой книги, но существуют слова, к которым припутано столько вредных представлений, что от них приходится или окончательно отказаться или изгнать из употребления в течение некоторого „периода очищения". На двух таких словах — „флогистоне" и „эфире" — мне еще представится случай остановиться на страницах этой книги.

Между тем понятие „метафизика" может быть лучше всего и вполне определено как изучение главных

абстракций человеческого ума, каковы: пространство, время, материя, жизнь, любовь, долг, патриотизм,—нет необходимости продолжать это перечисление.

Более или менее полный перечень наших главных и второстепенных абстракций мы можем найти в любом достаточно полном толковом словаре. Нет ни одного употребляемого нами слова, которое не представляло бы собой результата весьма явственного процесса абстракций, который связан с процессом мышления и которым может быть и является сам процесс мышления. Этот процесс абстракции и идеализации или раффинирования сырого материала, доставляемого опытом, принадлежит к числу тех вопросов, которых мы в дальнейшем часто будем касаться.

Когда мы говорим об основных абстракциях, мы подразумеваем те из них, которые получаются из массы сырого материала путем значительного количества упомянутых процессов раффинирования. Тот же самый материал, из которого делают сыр, употребляется и для изготовления шахматных фигур: однако в последнем случае материал не играет существенной роли. Стоимость шахматных фигур зависит от количества человеческих усилий, употребленных для их изготовления. Точно также мы имеем некоторые понятия, которые непосредственно извлекаются из опыта, в то время как другие проходят через такую сложную и длительную систему обработки, что мы не можем уже определить, какой сырой материал был положен в их основу. Однако не лучше ли, вместо того чтобы категорически разделять понятия на субъективные и объективные, сказать: это понятие более субъективно, а это более объективно, учитывая все градации длительного и подчас очень сложного процесса абстракции. В самом деле, не будет ли остроумнее не злоупотреблять

такой классификацией, как идеальный и реальный, истинный и ложный, и тому подобными, которые нередко придают философии природы излишне прилизанный вид, а вместо этого время от времени показывать всю искусственность тех границ, которые ставятся этими понятиями.

Если мы пересмотрим те идеи, которые мы назвали „главными абстракциями“, мы убедимся, что большая группа среди них, касающаяся отношений человека и общества, не может быть обсуждаема с той же самой свободой (в отношении предрассудков и страстей), как остальные. Самый трудный объект для изучения — это человек. Быть может жук или тарантул могли бы начать изучение человека с меньшим предубеждением, но вероятно они были бы слишком взволнованы тем, что существо, обладающее лишь одной третью или даже четвертью числа их ног, может обладать истинной осмысленностью.

Мы с общего согласия отделим естественные науки от социальных, потому что изучение звезд электронов и хромозом не сталкивает нас так близко со спорными вопросами человеческих взаимоотношений.

Методы естественных наук не специфичны для этой отрасли знания. Если мы спросим: сколько времени тому назад группа индоевропейских языков была лишь местным наречием нескольких расположившихся по соседству кочевых народностей, или как давно какая-либо окаменелость была заключена в данной скале осадочного происхождения, то обе эти проблемы представляют аналогичные трудности. В обоих случаях мы узнаем, что были периоды быстрого роста или быстрого разрушения и периоды застоя, но после наблюдения современных пластов или законов изменения живых языков мы приходим к нужному заключению.

Я принимаю, что научный метод, о котором так много приходилось слышать—не что иное, как врожденный метод решения задач, немного очищенный от предубеждений и слегка развитый путем тренировки. Сыщик с его таинственным убийством и химик, ищущий структуру нового соединения, употребляют довольно мало формальных и логических способов рассуждения. Путем ряда интуиций, допущений, предположений они наталкиваются на истинное объяснение и удачно схватывают его, когда оно делается досягаемым.

Я не собираюсь отождествлять науку с измерением, которое является лишь одним из ее инструментов, а также не собираюсь вводить какое-либо определение ученого, которому бы не отвечали имена Дарвина, Пастера и Кекулэ.

Ученый — это практический человек, он преследует практические цели. Он должен искать не наилучшее, но ближайшее. Он должен говорить не о последнем анализе, а о следующем приближении. Его построения не должны быть столь ажурными, чтобы один дефект мог погубить все. Ученый строит медленно, пользуясь грубым, но прочным способом каменщика. Если он недоволен какой-либо частью своих работ, даже в том случае, если эта часть лежит у самого основания его здания, он может переделать ее без вреда для всего остального. В целом он доволен своей работой, так как наука в целом хотя и не дает окончательных и бесспорных истин, но все же никогда также и не дает совершенно ложных во всех частях результатов и как будто совершенствуется от десятилетия к десятилетию.

Теория о существовании абсолютной истины, также довольно широко укрепившаяся в человечестве, представляется не слишком полезной для науки, она скорее

дает горизонт, к которому мы можем двигаться, нежели точку, которая может быть достигнута.

Если бы даже сегодня и была установлена абсолютная истина, то осталась ли бы она такой до завтра? Резкий Реми де Гурмон пишет: „Нет истины, так как мир непрерывно меняется. Вы получили представление об эволюции... но вы хотели одновременно сохранить представление об истине?“ [1]

Если даже мы примем взгляд, что понятия постоянно развиваются, применяясь к непрерывно меняющимся окружающим условиям, все же мечта о полной увязке имеющихся представлений с действительными фактами не может не быть иллюзорной. В науке период подъема точных экспериментальных работ и наблюдений является также периодом, в котором начинают проявляться многие противоречия: старые теории аннулируются или видоизменяются, и эти исправления не всегда можно помирить с новыми данными. Современные физические науки переживают теперь свой переходный возраст— период бурного роста. Зато, с другой стороны, в периоды, когда делается мало новых наблюдений, наши теории получают возможность подойти ближе к полному охвату наших знаний. Парадокс не слишком страшен для ученого. Фарадей писал Тиндалю: „...Чем более мы увеличиваем число аномальных фактов и выводов, тем лучше для изучаемого предмета; если бы мы продолжали двигаться по неправильному пути, у нас остались бы одни аномалии“. [2]

Ученый знает, что он всегда окружен парадоксами и что его задача резрешить их. Он знает, что наука будущего будет иметь свои парадоксы, но он верит

---

[1] Remy de Gourmont. A Night in the Luxembourg.

[2] Tyndall. Diamagnetism.

в то, что каждый отдельный парадокс может быть разрешен и что разъяснение этого парадокса приведет не к усложнению, а к упрощению его задачи и приведет из состояния временного беспорядка к более совершенной гармонии. Это я принимаю как универсальное „credo" науки.

Быть может, ученый несколько благосклоннее относится к парадоксу, чем те, кто вечно ворчит по поводу обнаружения некоторых изъянов в „предустановленной гармонии". В конце концов, разве так необходимо решать вопрос о существовании всех этих основных абсолютов и, в особенности, о существовании абсолютной истины? Если мы окончательно откажемся от детского представления о том, что каждый поступок или правилен или неправилен, что каждое утверждение или истинно или ложно, что на каждый вопрос можно ответить или „да" или „нет", то мы должны будем признать, что при современном состоянии наших знаний некоторые утверждения более правдоподобны, нежели другие.

Если мы все наши положения расположим по степеням их вероятности, то мы получим непрерывный ряд, начинающийся от невероятных и кончающийся вполне достоверными положениями. Однако вопрос о том, существуют ли положения, которые лежат непосредственно у той или иной границы нашего ряда,— для нас не имеет большого значения. Во всяком случае, всякий ученый должен соблюдать экономию в процессе своего мышления, притом не только в самом процессе обдумывания, но и в выборе тем для размышлений. Он не может считать целесообразным тратить время и силы на размышления об „основах и абсолютах", хотя нельзя не сознаться, что нередко, против его воли, эти вопросы настойчиво пробираются в его мысли.

Как мы слегка коснулись проблемы абсолютной истины, мы коснемся, но более поверхностно, вековой проблемы об идеальном и реальном, об объективном и субъективном.

Если мы в данный момент не занимаемся наблюдением движения планет, то мы можем быть уверены, что это делает кто-нибудь другой. Когда мы направляем наш телескоп на луну, то мы твердо убеждены, что это та же самая луна, которой кричат дети и на которую лают собаки. Однако, с другой стороны, мы знаем, что на наших восприятиях сильно отражаются и инстинкты, перешедшие к нам по наследству, и впечатления от наших личных прошлых восприятий и, на ряду со всем этим, результаты нашего общения с другими людьми. Ведь ваш же пес Тоузэр представился бы вам совсем иным, если бы вы его видели в первый раз, и в особенности если бы он был первой собакой, которую вы вообще видели. Слово „собака" есть абстракция, объединяющая очень многих Тоузэров. По мере того как мы усматриваем черты сходства для все большего и большего количества индивидуумов, мы переходим от специального к общему. Тоузэр, собака, млекопитающее, позвоночное, животное, одушевленное, объект, — все это последовательные продукты длинного процесса отвлечения. Часто, когда мы двигаемся по пути все большей и большей абстракции в образовании понятий, мы мало-по-малу исключаем экспериментальный материал, положенный в основу первого обобщения. Однако окончательно освободиться от всякой эмпирической основы не представляется возможным.

Люди собирают свекловицу и, подвергая ее соки различного рода очистке, получают сахар, который, однако, носит некоторые признаки своего „земного"

происхождения. Быть может мы знаем, что такое „химический продукт“, но никто и никогда не видел до сих пор какого-либо абсолютно чистого вещества; точно также я сомневаюсь, что кому-нибудь посчастливится увидеть чистую абстракцию.

Я совершенно не имел намерения заниматься исчерпывающим изучением сложных проблем теории познания. Как было сказано замечательным мыслителем Эдгаром Алланом По: „Умственный склад, который принято называть аналитическим, очень часто, в действительности, плохо приспособлен для анализа“. [1] Тем не менее постольку, поскольку мы приступили к изучению концепций науки, мы должны хоть вкратце коснуться характера её эволюции.

Я сказал „эволюции“, а не разработки, с целью подчеркнуть точку зрения, которую я защищаю. Я утверждаю, что комбинация анализа и синтеза, которую мы называли „процессом абстракции“, с помощью которого мы методически систематизируем результаты наших опытов, — может быть рассматриваем как некий органический процесс, сопровождающий мысль, но он далеко не всегда находится в подчинении у нашей воли. Мы не можем создать перебродившее вино, однако мы можем способствовать началу брожения, которое пойдет дальше и без нашей помощи. Точно также мы можем способствовать возникновению упомянутого психического процесса, но дальше он идет уже непроизвольно, даже у таких великих умов, как Дарвин или Джукс. Повидимому, тот же самый процесс мы имеем в мозгу собаки, отличающей зов к обеду, который не представляет собой приглашения есть именно мясо или собачьи галеты, а вообще — предложение еды. Таким

[1] Эдгар По. Убийство в улице Морг.

образом, и собака в свою очередь обобщает и абстрагирует.

Думаю, что всякий, кто однажды усвоил представление об этих процессах отвлечения, как о чем-то живом, непрерывно разрастающемся, обладающем огромной творческой силой, никогда не вернется к мысли о существовании устойчивых, абсолютных, произвольно созданных человеческих понятий, представляющих не что иное, как восковую модель живого и благоухающего цветка. Мысль — это роскошное растение, от которого мы то здесь, то там можем отрезать побег или ветку и использовать их для своих нужд.

С представлением о процессе мышления, как о роскошном растении, бурный рост которого мы не можем ни остановить ни ускорить, имея возможность лишь, сообразно нашим целям, слегка управлять им, нельзя примирить бесплодные положения вроде следующего: „процесс размышления не может дать больше того, что в него было вложено". Это было бы равносильно тому утверждению, что земля фермера не может принести больше того, что он посеял. Каждая мысль, каждое утверждение выпускает свои щупальца для рекогносцировки на соседней территории. Когда мы устанавливаем какое-либо положение, мы не можем не удивляться тому, что и положение обратное ему справедливо. Если я пишу одну за другой цифры 1, 3, 5, 7, то вы ожидаете, что следующей по порядку я напишу 9. Если я медленно черчу на доске кривую — вы начинаете невольно предсказывать и дальнейшее ее направление. В случае некоторых измерений наша мысль всегда направляется уже заранее накопленным знанием, а в тех случаях, когда процесс постижения некоторой зависимости выводится из ряда данных точек, полученных из опыта и притом не взятых наудачу, а на основании

учета всех отдельных измерений, — мы называем этот процесс экстраполяцией.

Имеется очень много разновидностей мыслей и процессов отвлечения, имеющих по содержанию мало общего с тем, что мы называем наукой; но, как я уже говорил раньше, процессы отвлечения и в этих случаях по своему методу, своей форме совершенно аналогичны тем, которые мы применяем к науке. Люди с воинственными наклонностями в промежутках между войнами занимались игрой в войну. Армии со своими конями и слонами производили грандиозные маневры с примерными боями, которые однако оказывались очень дорогими; поэтому пришлось прибегнуть к деревянным фигурам людей, коней и слонов, и маневры в силу этого производятся на значительно меньшей площади. После этого и „театр войны" и движения фигур делаются условными; условность порождает дальнейшую схематизацию, и в результате мы имеем удивительно компактную и полную абстракции игру, именуемую шахматами. Здесь приведен конкретный пример процесса отвлечения, который может служить введением к нашему очерку развития физических представлений. Теперь мы переходим к последовательному рассмотрению этих концепций. Разбор конкретных случаев сможет дать нам представление о могуществе и в то же время о границах научного метода. Мы начнем со старейшей из математических наук — арифметики, науки о числах.

Начну с простого примера. Маленький хромой мальчик, сидя на крылечке, видит напротив здание школы и в нем класс мальчиков за работой и игрой. Он услыхал от них детскую поговорку „ини, мини, майни, му, поймай негра за ногу", и стал сопоставлять эту формулу с разными предметами и событиями. Когда, например,

школьные часы бьют час пополудни, он называет это „ини", следующий бой часов „ини-мини"; „ини-мини-майни" он сопоставляет с тем моментом, когда в школе кончаются занятия. Когда мальчики покидают класс, построившись по возрасту, маленький хромой мальчик опять-таки прилагает к ним свою формулу, называя по порядку всех мальчиков. Он занимается этим до тех пор, пока он не начинает мыслить старшего мальчика как „ини", следующего как „мини", а младшего как „негра".

Эту привычку выискивать серии сходных слов и применять их для перечисления и переименования предметов, событий и их последовательностей мы называем введением порядковых имен или порядковых чисел. После изобретения алфавита греки стали применять буквы α, β, γ, δ в качестве символов для выражения порядковых чисел; однако задолго до изобретения алфавита и даже до образования древнего индоевропейского языка уже были распространены в четырех частях света ряды слов для счета, лишь немного отличающиеся по произношению от современных „один, два, три, четыре"...

Вернемся к нашему примеру. В один прекрасный день нашему мальчику пришло в голову перечислить класс не при выходе, а по мере постепенного прихода мальчиков в школу. Теперь уже „ини" не старший по возрасту мальчик и „мини" не следующий за ним по возрасту; однако он замечает, что на последнего опять падает слово „негр". На следующий день мальчики, являются уже в совершенно ином порядке, но опять последний входит провожаемый словом „негр". Это показывает, что весь класс налицо. Хромой мальчик говорит себе: „Если бы класс был больше, последним словом была бы—„нога".

Мальчик сделал важное *наблюдение*, и если он попробует тот же метод с совокупностью иных предметов,—он откроет *эмпирический закон*, быть может самый важный из когда-либо установленных законов науки. Он находит, что в каждой такой совокупности предметов или событий, независимо от того, в каком порядке они расположены или происходят, есть нечто неизменное, что может быть, конечно, выражено порядковым именем; однако теперь это слово уже отвечает на вопрос „сколько".

Я не собираюсь утверждать, что исторически имена порядковые появились раньше количественных; мы не можем знать также и того, как именно с течением времени представление о том, что каждая совокупность сопоставляется с некоторым свойственным ей числом, было абстрагировано и число получило в нашем сознании самостоятельное существование, не связанное непосредственно с некоторыми определенными совокупностями предметов, событий или понятий. Точно также мы не знаем, как этот эмпирический закон перечисления был подвергнут дальнейшей переработке и как он наконец стал тем, чем он представляется нам в настоящее время, — чем-то условным, почти чистым определением.

Эти процессы отвлечения протекают незаметно для нас и не подвергаются нашему контролю. Таким образом, внушительный математический аппарат оказывается созданным не для того, чтобы безропотно служить нам, вроде „Универсального автомата", одной из современных игр. Он развивается сам по себе, и это развитие, раз начавшись, уже не может быть остановлено. Мы начинаем обозначать первое число через α, второе через β, и, когда кончается алфавит, мы продолжаем дальнейшие обозначения чисел символами: $\alpha\alpha$, $\beta\beta$ и т. д., а

затем — *ααα*, βββ... Но предприняв эти робкие шаги, мы внезапно оказываемся ошеломленными призраком бесконечности, так как, раз мы установили закон написания чисел, присоединив к прежним группам *ααα*... и βββ... новые *α* и β, ничто не может нас удержать от его применения для составления бесконечного ряда новых. Только что мы ввели нашу совокупность цифр, и она сделалась бесконечной!

Мы можем вернуться к повествованию о маленьком хромом мальчике. В школе прибавили еще класс, и он вынужден различать „ини" и „мини" большой комнаты от „ини" и „мини" маленькой. Пожалуй, я мог бы рассказать и о том, как два класса были соединены вместе, как наш мальчик впервые представил себе процесс сложения, о результате которого он сообщил удивленной матери в виде довольно жуткой реплики: „Ини и негр — составляют ногу"; я не буду входить здесь в обсуждение основных действий сложения и умножения, которые такими исчерпывающими простыми словами описаны у Клиффорда, [1] Пуанкаре [2] и Гобсона. [3] Книга Клиффорда, несмотря на то, что она напечатана более 30 лет назад, кажется мне настолько блестящей, что я предпочел ее всем другим и взял за образец при изложении этой главы.

Относительно этих арифметических действий я скажу то, чего нельзя не повторять как можно чаще: чем абстрактнее делается наука, чем дальше она удаляется от результатов опыта, из которого она выросла, тем больше теряет смысл вопрос: „в какой мере истинными являются заключения этой науки?" Это не должно казаться пустым хитросплетением! Независимо от того,

[1] Clifford. The Common Sence of the Exact Sciences.

[2] Poincaré. Science et Hypothesis.

[3] Hobson. The Domain of Natural Sciences.

что мы думаем об абсолютной истине, никто не будет сомневаться в применимости в каждом частном случае слов „истина“ или „действительность“.

Многие из наших понятий или представлений кажутся нам настолько ясными и неоспоримыми, что мы совершенно не задумываемся о них при решении весьма запутанных вопросов, которые постоянно возникают. Однако нельзя знать наперед, не придется ли вытащить эти бесспорные понятия из-под спуда нашей мысли для дальнейшего их испытания.

Палеонтолог находит допотопную кость и заключает, что она принадлежит какому-то животному из породы слонов. Однако среди существующих пород слонов такого животного нет. Он представляет себе некое гипотетическое создание и называет его „мамонт“. — Затем, когда находятся еще другие кости, ученые не только точно воссоздают весь скелет, но и имеют представление о расположении и величине мускулов. Таким образом мамонт реконструирован, хотя, конечно, возникают крупные разногласия в мелких деталях. После этого при раскопках пещер древнего каменного века обнаруживаются рисунки того же самого мамонта. Наконец, в Северном море обнаружен айсберг, заключающий в себе труп мамонта, сохранившийся в течение многих тысяч лет в замороженном состоянии для того, чтобы подтвердить работу палеонтолога и археолога. Где-то в процессе этих открытий представление о мамонте из чистого умозрения превратилось в действительность, а затем палеонтолог переводит ее из своего ума в архив, где хранятся реальные предметы.

В каждой новой и развивающейся науке существует ряд рабочих гипотез, которые никогда не достигнут степени полной достоверности. С другой стороны, в старой и отвлеченной науке — математике, где довольно

трудно бывает сказать чего больше: условности или определений, проблема достоверности не столько сомнительна, сколько бессмысленна. Некоторые отрасли математики могут быть захватывающе интересными и удовлетворяющими нашим эстетическим потребностям. Есть и такие, которые могут найти применение в практике повседневной жизни и в других науках. Бывают и такие, которые очень легко могут становиться смешными, дойдя до явного противоречия самим себе, точно так же, как если бы была такая смешная игра, где правила делают выигрыш немыслимым. Или, наконец, есть просто скучные, или в силу скудности содержания или, наоборот, потому, что они содержат слишком много сложностей и деталей.

Я бы не посмел сказать, что какие-либо из современных работ по математической логике скучны. В самом деле, часть из них, например одни из последних исследований Уайтхеда, — необычайно интересны. Но я не могу избавиться от чувства, что многие из них ослеплены иллюзией окончательности и непреложности полученных ими результатов.

Не жаль было бы никаких усилий для того, чтобы наше знание свелось к ряду абсолютно верных теорем, подтвержденных совершенно убедительными доказательствами. Но если в наших доказательствах мы каждое слово определяем с самой заботливой опаской, все же непременно найдется кто-нибудь, кто потребует точного определения терминов, употребленных нами в наших доказательствах.

Если мы отбрасываем как несбыточную мечту мысль о немедленном доведении наших знаний до совершенства, мы не можем оставить наши попытки быть более аккуратными в наших мыслях, более осторожными в доказательствах. Принимая, что все наши основные

положения не вполне строги, мы стараемся придать им достаточную строгость, вместе с тем не растрачивая всех своих сил на краеугольный камень здания. По мере того как мы надстраиваем верхние этажи нашего научного здания, мы применяем все более и более легкий строительный материал, но мы добиваемся того, чтобы каждый этаж был выстроен из материала одинаковой прочности. Мы обнаруживаем существование нескольких уровней логики: во всех науках на определенной ступени их развития мы пользуемся логикой того или иного уровня, как это будет показано в следующей главе.

Такая аналогия со строящимся зданием с рядом этажей дает представление о науке как о чем-то безжизненном и всецело созданном волею человека. На самом деле будет уместно говорить о древе знания, которое, распуская свои ветви все дальше и дальше в туман неизвестного, в то же время пускает свои корни глубоко в почву и подпочву наших инстинктов и нашей наследственности, нашей обыденной мысли и речи.

Проблема языка настолько обширна, что я с трудом решаюсь слегка ее коснуться; но когда знаменитый Виллард Джиббс говорит: „Математика — это язык", я не могу признать, что он мыслит математику в виде совокупности символов, хотя математика его времени не была чисто формальной. Скорее он имел в виду то, что в некоторых отношениях язык имеет свойства математики. Подобно тому как арифметика состоит из чисел и действий над ними, точно так же и язык состоит из слов и действий над ними, определяемых грамматикой. Вот из этой-то необъятной магмы выкристаллизовывались логика и математика.

После этого длинного отступления вернемся к вопросу о том, должны ли мы считать арифметику истинной

или же только в высшей степени интересной и полезной или же, наконец, как полагает Вилльям Джемс, имеющей чисто прагматическое значение наукой.

Несомненно, что она полезна и приложима к огромному количеству проблем, однако приложима ли она ко всем? Примем простейшее арифметическое положение $1+1=2$: однако один литр воды, смешанный с одним литром алкоголя, дадут ли ровно два литра смеси? Нет, смеси получится немногим больше 1,9 литра. Если этот случай неприменимости арифметики тривиален, рассмотрим случай большого снаряда, удаляющегося от нас со скоростью 175 тысяч километров в секунду. Пусть этот движущийся снаряд выбрасывает вперед, по линии своего движения, другой меньший снаряд со скоростью также в 175 тысяч километров в секунду. Будет ли последний удаляться от нас со скоростью 350 тысяч километров в секунду? Мы увидим в следующей главе, что такая скорость не только не достигнута, но и недостижима.

Изучая такие случаи неприменимости арифметического метода, мы в конце концов приходим к заключению, что метод счета может быть применим только к тем вещам, которые могут быть сосчитаны, и, таким образом, мы получаем нечто вроде порочного круга. Однако на самом деле он, во-первых, совсем не порочен, а, во-вторых, пожалуй и не круг.

Этот круг несколько напоминает ту форму, которую паук придает своей паутине. Рост живой мысли не может быть задавлен: циклический ряд мыслей уже не круг, скорее это винтовая линия, следуя которой мысль с каждым оборотом поднимается на все большие и большие высоты. Порочный круг — это лишь проекция этой винтовой линии на плоскость формальной логики.

В дальнейшем мы разовьем наше положение о том,

что различные отрасли математики не что иное, как болванки, к которым мы должны приспосабливать результаты наших опытов. Для ученого, вся жизнь которого проходит под знаком Заблуждения и Проверки (я умышленно не говорю ошибок и проверок), вполне естественно желание испытать одну за другой все области математики и найти среди них ту, которая окажется наиболее пригодной для решения данной проблемы.

Вернемся к нашим арифметическим операциям. Освоившись с операциями сложения и умножения, мы начинаем представлять себе обратное действие, в котором то, что было раньше данным, теперь является искомым. Таким образом, сложив два числа, мы пытаемся произвести операцию их вычитания. То же самое относится и к делению, действию обратному умножению. Мы пишем $2:2=1$; $4:2=2$ и т. д., но как только мы это сделали, наша идиотская математическая машина начинает отбивать $1:2$; $2:2$; $3:2$ и т. д. Мы не видели действия, для которого $1:2$ было бы обратным; следовательно, для нас этот символ не имеет смысла. Но не является ли он „полезной бессмыслицей", по выражению Клиффорда? Не можем ли мы как-нибудь использовать и эти продукты нашего абсурдного механизма?

Если мы имеем ряд из шести предметов и разделяем его посередине, мы получаем два ряда по три: кажется совершенно разумным, выразить этот процесс в виде $6:2=3$. Следовательно, когда мы разрезаем яблоко на две равные части, нам приходится воспользоваться „абсурдным символом" $1:2$. Таким образом мы находим приложения новому символу, который после этого перестает быть смешным. Новая идея оказывается приложимой даже и к таким объектам, которые не могут быть разрезаны на половинки. В самом деле, удары колокола и кладка яйца представляются процессами

крайне неблагоприятными для деления. Однако, если кто-нибудь теперь предложит нам старинную загадку: „Полторы куры в полтора дня кладут полтора яйца, сколько яиц снесут семь кур в семь дней“, мы, может быть, не сможем мгновенно дать точного ответа, но мы сразу поймем смысл загадки. Точно также вы поймете мою мысль, если я скажу, что часы за день в среднем отбивают по шесть с половиной ударов в час.

Подобным образом отрицательные числа могут быть легко интерпретированы представлениями о приходе и расходе, и, таким образом, как дроби, так и отрицательные числа получают полные права гражданства среди целых и положительных чисел. Во то время как целые положительные числа представляют собой бесконечные ряды, дробные образуют бесконечные ряды между каждой парой соседних целых. Т. е. если мы пишем $1\frac{1}{2}$ между 1 и 2 и далее интерполируем $1^{1}/_{4}$ и $1^{3}/_{4}$, далее $1^{1}/_{8}$, $1^{3}/_{8}$ и т. д. и продолжаем этот процесс бесконечно, мы получаем настолько *тесный* ряд чисел, что между каждой парой этих дробей (они могут отличаться между собой сколь угодно мало) может быть вставлено еще *бесконечное* число членов.

И, тем не менее, даже если этот процесс продолжать сколь угодно далеко, среди наших чисел ни одно не будет равняться в точности $1^{1}/_{3}$. Можно было бы думать, что если мы подберем трети, пятые, седьмые и прочие с достаточной степенью точности среди бесконечного ряда наших дробей, мы сможем удовлетворить наши потребности и укротить наш инстинкт отвлечения. Однако это не вполне правильно: в самом деле, если мы напишем $\frac{1}{2} + {}^{1}/_{4} + {}^{1}/_{8} + {}^{1}/_{16} + {}^{1}/_{32}$ и т. д. и сложим эти дроби между собой, то никогда сумма их не достигнет единицы, но будет приближаться

к этому числу все ближе и ближе по мере увеличения числа членов. Мы можем согласиться с Дедекиндом, [1] что сумма такого бесконечного ряда в свою очередь равна какому-нибудь определенному числу и что в данном случае это число единица.

Таким образом, если мы пишем ряд $\frac{1}{4}+\frac{1}{9}+\frac{1}{16}+\frac{1}{25}+\dots$, мы находим, что наш бесконечный ряд сходится где-то около $\frac{2}{3}$, но сумма ряда не равна в точности этому числу. Мало того, она не может быть представлена ни одним из тех чисел, которые мы только-что обсуждали. Если мы вставим суммы таких бесконечных рядов в ряд наших чисел, то тем самым мы еще больше расширяем понятие „число“. Долгое время эти „новые числа“ не были формально приняты в семью чисел, но наконец это состоялось и они были приняты и употребляются как под своим старым, [2] так и под новым названием иррациональных чисел.

Эти иррациональные числа могут быть иллюстрированы прилагаемой таблицей. Первый ряд представляет собой бесконечный ряд, при чем точки показывают, что он продолжается до бесконечности вправо. Вторая строка представляет бесконечную сумму $\frac{1}{2}+\frac{1}{8}+\frac{1}{32}+\dots$; закон ее составления очевиден — отбрасываются все четные члены предыдущего ряда. Третья строка представляет собой ряд: $\frac{1}{4}+\frac{1}{16}+\frac{1}{64}+\dots$

Половина		Четверть		Восьмая		Шестнадцат.		Тридцать вторая		
1	+	1	+	1	+	1	+	1		= 0,11111 . . .
1	+	0	+	1	+	0	+	1		= 0,10101 . . .
0	+	1	+	0	+	1	+	0		= 0,01010 . . .

[1] Dedekind. Was sind und was sollen die Zahlen.

[2] Прежнее название, употребляемое английскими авторами, — „surd“ (от absurd) — нелепый. *Прим. перев.*

Ради краткости таблица эта может быть записана сокращенно, как это видно из правой части таблицы, которая выглядит как ряд наших старых знакомых — периодических дробей. На самом деле они и являются периодическими дробями, только они написаны по бинарной системе, в то время как мы привыкли, из-за того что у нас десять пальцев на руках, пользоваться исключительно десятичной системой. Здесь мы имеем бинарные, а не десятичные дроби. В заключение мы не ограничиваемся теми периодическими дробями, которые написаны нами, мы учитываем любые комбинации единиц и нулей, продолженных до бесконечности, так же как это показано на таблице. Другими словами: когда мы прибавили к целым числам все дроби — рациональные и иррациональные, тогда и только тогда мы можем считать нашу систему „действительных чисел" полной.

Добавление иррациональных чисел не только не усложнило систему чисел, а, наоборот, упростило ее, так что теперь система чисел во всех отношениях имеет свойства континуума (непрерывного ряда).

Это обстоятельство дает возможность численно выразить непрерывное изменение, как, например, рост дерева со временем или изменение объема с температурой. Кроме того, оно приводит систему чисел в полное соответствие с положением точек на геометрической линии.

II. ПРОСТРАНСТВО И ГЕОМЕТРИЯ.

Мы связываем в нашем сознании целый ряд различных представлений со словом „пространство". Человек с улицы скажет, что пространство — это то, куда мы кладем вещи и откуда мы их вынимаем. Он производит своего рода отвлечение из объема сундуков, боченков, шкафов и т. д. Было бы легко сказать, что это представление о пространстве неправильно, но сколь абсурдно было бы такое заявление! По законам языка слово имеет то значение, которое ему приписывает большинство людей, а когда мы говорим о пространстве — у большинства это представление базируется на понятии о емкости сундуков и шкафов. Однако наука требует более точного определения обыденных представлений и часто более ограниченного и технического языка. Математика особенно требовательна в этом отношении. Анализируя весьма утонченное представление пространства, применяемое математиками, мы убеждаемся в том, что оно очень близко к представлению о числе. Как числа имеют два значения — порядковые и количественные, отвечающие на вопросы „который" и „сколько", так и в пространстве мы видим две основные черты: понятие пространства заключает в себе, во-первых, порядок предметов, во-вторых — измерение протяженности.

Представление о том, что пространство родственно числу, было высказано впервые Лейбницем, который дал

наилучшее толкование понятия пространства у математиков в следующих коротких словах: „Пространство есть порядок сосуществующих предметов". Выражение „сосуществующих" означает, что представление о времени уже сформулировано. Мы не можем наблюдать совместно эту площадку в ее настоящем виде и в том, какой она имела 10 лет тому назад; этот письменный стол в его настоящем виде, а эту рукопись в том виде, какой она будет иметь через 10 лет; мы наблюдаем их взаимное расположение и их свойства, соответствующие данному моменту. В следующей главе мы увидим, насколько высказанные нами взгляды соответствуют современным научным воззрениям. Временно мы ограничиваемся моментальными фотографиями вещей и попытаемся простыми словами выразить понятие о расположении, или пространственном порядке.

Дети с самых малых лет, повидимому, обладают чувством „пространственного порядка", и, в самом деле, естественно предположить, что большинство врожденных инстинктов у человека относится как раз к пространственным представлениям. Ребенок, нанизывающий бусы, обнаруживает, что бусинка может быть поймана между двумя другими, что и представляет собой характерное свойство одномерного пространства.

Когда он играет разбросанными по полу кубиками, то он обнаруживает, что, располагая их как цепочку из бус, можно получить стенку. Однако здесь каждый индивидуальный кубик еще не пойман: он может, легко скользя по полу, поменяться местами с соседним или любым другим. Если концы стены смыкаются, образуя загородку, то внутри этой загородки кубик может быть пойман. Он уже не может удрать, скользя

по полу, не разрушив стенки. Если вы освободите кубик, перенеся его над стенкой, ребенок запищит: „Это неправильно!“, потому что он играет в двухмерном пространстве. Наконец, если кубики сколочены так, что они образуют закрытую коробку, то оставленный внутри ее кубик пойман окончательно, ни вам, ни ребенку не удастся его вытащить, не сломав коробку. Эти факты приводят нас к убеждению, что наше пространство имеет три измерения.

Остановимся несколько на проблеме пустого пространства. Мы выливаем воду из кувшина, но когда мы говорим, что кувшин пуст, мы забываем о том, что в него проник вместо вылившейся воды воздух. Но воздух в свою очередь может быть откачан насосом, и, хотя мы до сих пор не можем создать совершенного вакуума, все же мы подходим из года в год все ближе к осуществлению этой задачи. Во всяком случае мы можем вообразить, что нам удалось дочиста откачать наш кувшин. Несколько лет тому назад нам сказали бы, что там все же остается эфир. Однако это, как мы увидим в следующей главе, оказалось довольно бесполезным допущением. Но как увязать представление о пустом пространстве с определением пространства, как совокупного расположения предметов? Если мы имеем некоторое количество предметов, расположенных в виде ряда, то мы не будем утверждать, что ряд имеет какое-то самодовлеющее существование, независимо от чисел его составляющих, точно также мы не можем приписать пространству какого-то самодовлеющего значения. Но мы имеем такое огромное число предметов в такой сложной сети взаимных связей в трехмерном пространстве, что нам бывает выгодно, при перемещении нескольких предметов, сохранить возможно большее количество связей и соотношений нетронутыми,

и это мы можем сделать лучше всего, сказав, что пространство в некоторой области осталось пустым.

Для того чтобы остановиться подольше на этих основных положениях о пространственном порядке, которые дают нам пока чисто качественное представление об одном-, двух- и трехмерном пространстве, нам придется сделать предположение о том, что может существовать мыслящее существо, которое лишено всякого представления о пространстве и получает это представление лишь впоследствии.

Это допущение вводится для того, чтобы проникнуть глубже в трясину метафизики. Представим себе личность парализованную и лишенную всех органов чувств за исключением органа обоняния. Вся ее психическая жизнь состояла бы из воспоминаний ощущений, вызванных запахами и, быть может, в предвкушении некоторых новых комбинаций обонятельных ощущений. Представим себе, что этого паралитика возят ежедневно по определенной дорожке в саду, окаймленной клумбами различных цветов. Не сможет ли он составить себе представление о некоторой последовательности запахов, повторяющихся ежедневно? Если его в дальнейшем возить не по одной, а по разным дорожкам того же сада, не получит ли он, быть может с большим трудом, представление о двухмерном пространстве. Например: если бы весь сад был окружен забором из розовых кустов, не составилось бы у него представление, что нельзя переместиться из мира неприятных запахов снаружи ограды сада в благоухающий садик, не проходя через границу, окутанную ароматом роз? Некоторые энтомологи утверждают, что существуют виды насекомых с необычайно развитым, за счет удивительного обоняния, чувством пространства. Эта возможность подвергается сомнению в знаменитом

изречении Пуанкаре:[1] „Если бы в природе не было твердых тел, то не было бы и геометрии".

Психологи обратили серьезное внимание на связь между нашими восприятиями и развитием идеи пространства и предполагают, что в ближайшем будущем будет окончательно установлено, что все наши понятия и представления определяются исключительно теми чувственными восприятиями, которые получали мы и наши предки.

Однако процесс отвлечения завел нас настолько далеко от бесчисленных индивидуальных опытов, которыми обусловлено наше представление о пространстве, что говорить об осязаемом и видимом пространстве представляется значительно более необходимым, чем о видимом и осязаемом числе. Поэтому поспешим уйти с этой предательской почвы и начнем обсуждение геометрического измерения с простой аллегории.

Во время оно южная часть Тихого океана была покрыта плотным покровом облаков, так что несколько поколений островитян никогда не видели ни звезд, ни солнца, и о них сохранилось только предание. Тем не менее культура островитян росла. Их кокосовые плантации сделались настолько ценными, что они стали

---

[1] Poincaré. Science et Hypothesis. Необычайно очевидна та безграничная стремительность, с которой мы за последнее время взбираемся на высоты научного познания. Предположения, выдвинутые математиками предыдущего поколения, даже одаренными необычайной остротой ума, как Пуанкаре, для нас оказываются очень часто неприемлемыми. Он утверждал, например, что геометрическое пространство должно быть непрерывным и бесконечным. Оба эти предположения оказались несостоятельными. Опять-таки он говорит, что если бы какие-либо новые эксперименты принудили к выбору между эвклидовой геометрией и прямолинейностью распространения света, пришлось бы отказаться от последней. В четвертой главе мы увидим, насколько он ошибся в своем предсказании.

производить точные измерения земельных участков с помощью кокосовых веревок, и этот метод был даже узаконен великим геометром по имени Ули, так что их дети оснащались для жизненного плавания теми же самыми теоремами и выводами, как и современные дети. Туземцы плавали на своих челноках, не удаляясь далеко от берегов до тех пор, пока они ни открыли магнитного железняка и не изобрели компаса. После

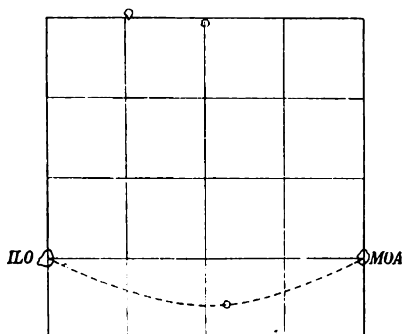


Рис. 1.

этого их мореплаватели осмелели и в конце концов выработали карту значительной площади южной части Тихого океана. Одна из этих карт приведена на рис. 1.

Вертикальные линии изображают пути челноков, идущих строго по направлению стрелки компаса, т. е., как мы бы сказали теперь, — с севера на юг; горизонтальные направлены к ним перпендикулярно, и, следовательно, направлены ни на юг, ни на север. Расстояние между отдельными линиями (везде одинаковое по мнению составителей карты) соответствует десяти дням гребли. Следовательно, эта сетка представляет собою то, что

мы называем проекцией Меркатора. Однако авторы карты не знают о шарообразности земли — для них она совершенно плоска.

Основная линия их карты проходит между двумя островами — „Ило“ и „Моа“, отстоящими друг от друга в сорока днях гребли. Однажды такое путешествие предприняли несколько челноков, вышедших из Моа одновременно. Все они шли по компасу. Один из них очень скоро отбился от остальной флотилии и приплыл к скалистому острову, который, по твердому убеждению капитана, находился южнее прямого пути из Моа в Ило. Вскоре он обнаружил, что он сбился с пути, потому что показания компаса были искажены железным амулетом, который он носил на шее. После того как он устранил это мешающее обстоятельство, он направился по компасу на Ило. Каково же было его удивление, когда он обнаружил, что он опередил все остальные челноки. Обладая складом ума, склонным к эксперименту, он обратно поплыл по тому же пути и вторично побил своих попутчиков.

Эта история подверглась огласке. Многие стали повторять его опыты и в результате убедились, что кратчайшим расстоянием между островами является линия, проведенная на карте пунктиром. Сперва было предположено, что океанские течения сокращают время путешествия по этому пути, однако таких течений обнаружено не было. После этого начали сомневаться в правильности компаса, предполагая, что скрытая под водой гора магнитной руды искажает его показания, но самые тщательные поиски и исследования не обнаружили ничего похожего.

В конце концов некий молодой человек, который и прежде отличался большим своеобразием во взглядах, высказал предположение, что навигационный путь между

Моа и Ило (изображенный пунктиром) в действительности представляет собой прямую, при чем он прибавил к этому другие столь еретические утверждения, что он был подвергнут суду, осужден и съеден. Не успел он еще окончательно перевариться в желудках судей, как и в головы других молодых людей проникли его идеи. Они специально проверили и подтвердили предсказания жертвы науки о том, что расстояние между двумя северными островами, нанесенными на карте, окажется значительно больше, а не 10 дней пути, как следовало из карты. Это обстоятельство и еще много других вошли в виде примечаний в новую дополнительную геометрию, которая вскоре была принята и преподана морякам под названием „Улиао", что значит „сверх Ули".

Все согласились с тем, что старая элементарная геометрия Ули годится для близких окрестностей и для домашнего употребления и выразили свое мнение в следующей поговорке: „Ули — для пискарей, Улиао — для акул". Я не хочу кончать свою историю, не рассказав о том, как один из владельцев челноков был приведен к местному начальству за то, что он слишком шумно бил свою жену. Он утверждал в свое оправдание, что он битых два часа объяснял ей принцип кратчайшего плавания от Моа к Ило и в конце концов услышал от нее: „Это страшно интересно, но неужели же напрямик дальше?".

Я не буду распространяться о морали этого предания, но предлагаю читателю подумать о ней, так как она содержит изрядное количество той „философии науки", которую я предлагаю вашему вниманию.

В частности, я пытался выявить идею, что навигационная геометрия есть не что иное, как двухмерная неэвклидова геометрия. Ее можно рассматривать и как

геометрию на п л о с к о с т и, особенно если мы представим себе, что нам ничего неизвестно о шарообразной форме земли.

Геометрия Эвклида представляет собой один из величайших памятников мысли древней Греции. В течение более двух тысяч лет она употреблялась в качестве настольной книги при обучении элементарной математике. В течение столетий всякая мысль о ее неоспоримости считалась еретической. Однако в течение этого длительного периода она доказала свою жизненность своим ростом и эволюцией. В противном случае она дошла бы до нас лишь в качестве древней мысли, или в виде прекрасной бабочки, распростертой в витрине музея.

Если в настоящее время мы чувствуем, что понимаем геометрию более полно, чем ее понимали греки, то это зависит не от недостатка преклонения перед их поразительными достижениями, не от того, что мы лучшие мыслители, а также и не от того, что наши современные идеи значительно приблизились к совершенству. Я полагаю, что только очень молодой виноград может сказать: „Когда я вырасту, то я достану до солнца“. Виноград более почтенного возраста ограничивается сознанием того, что „день ото дня я постепенно поднимаюсь все выше и выше“.

Геометрия Эвклида представляет собой прекрасный пример построения, основанного на ярко и выпукло выраженных логических основаниях. В своих общих аксиомах, как, например, „целое всегда больше части“ и др. Эвклид формулирует законы мышления (или законы слова), которые находят себе применение в целом ряде областей, помимо ограниченной области — геометрии. В своих постулатах он устанавливает специальные законы своей геометрии и, наконец, в своих определениях

он устанавливает объекты, которые она охватывает, как-то: точки, линии, треугольники, круги и т. д. Теперь принято оставлять такие объекты без определения, но я нахожу, что это дело вкуса. Конечно, ни одно понятие не может быть в точности определено, но иногда бывает полезно пояснить значение нашей мысли с помощью аналогий или рисунков.

Однако сейчас я хочу остановиться на постулатах. Позвольте вам напомнить их содержание:

1. Прямая может быть проведена из любой точки и в любую точку.

2. Прямая может быть продолжена непрерывно и беспредельно.

3. Круг может быть описан из любого центра и любым радиусом.

4. Все прямые углы равны между собою.

5. Если две прямые при пересечении третьей образуют внутренние односторонние углы, сумма которых меньше двух прямых, то при продолжении эти две прямые пересекутся и притом по ту сторону от секущей, где лежат углы, в сумме меньшие двух прямых.

Если, после окончания упаковки для путешествия, за несколько минут до отъезда мы обнаруживаем какую-нибудь совершенно необходимую вещь и прибавляем ее в виде небрежного и неудобного пакета к аккуратно установленным сундукам и чемоданам, то это вызывает весьма неприятное чувство. Подобное впечатление оставляет после стройных и простых допущений Эвклида неуклюжее предложение (отмеченное у нас цифрой 5), которое в некоторых изданиях называется последним постулатом, а в других — последней аксиомой и которое начинается словами: „Если две прямые линии и т. д.". Этот постулат представляется небрежно формулированным. Быть может, в действительности он

был введен без предварительной отделки, в последний момент, как будто, от него надеялись избавиться. Тем не менее он является одним из важнейших творений Эвклида, так как без него эвклидова геометрия не смогла бы существовать.

В истории науки нет ничего более интересного, чем описание ожесточенных атак на этот постулат, произведенных в надежде вывести его как следствие остальных четырех, которые привели, в конце концов, к гениальному открытию Лобачевским,[1] Болиаи и Риманном новых геометрий, которые могут быть выведены из материала, принятого Эвклидом, за исключением лишь упомянутого последнего постулата.

Для наших нужд мы можем сформулировать постулаты Эвклида в более простом виде:

1. Через две точки проходит лишь одна линия, называемая нами прямой.

2. Из любой точки можно описать круг.

3. Через любую точку вне данной прямой можно провести прямую ей параллельную и притом только одну.

---

[1] Тем, кто интересуется проблемой субъективного и объективного, было бы полезно обратить внимание на независимое и почти одновременное опубликование двух геометрий: русского Лобачевского и венгра Болиаи, настолько сходных, что они местами кажутся разными редакциями одного и того же сочинения. Подобным образом Гамильтон и Грасман одновременно опубликовали весьма схожие статьи, которые легли в основу всего современного векторного анализа. Трудно избавиться от впечатления, что, напав на определенную цепь математических вопросов, несмотря на то, что внешне мы сохраняем полную свободу индивидуального мышления, все же приходится следовать по некоторому совершенно определенному пути и делать и повторять вновь совершенно определенные открытия, — так, как мы это делаем, например, в физике или химии.

Значит ли это, что существует объективно мир математических представлений, столь же реальный, как и мир физики или химии?

Последний постулат отбрасывается в тех, неэвклидовых геометриях, о которых я упоминал. В геометрии Лобачевского через любую точку можно провести более чем одну параллельную к данной прямой; в геометрии Риманна нельзя провести ни одной. Навигационная геометрия, которую мы обсуждали в нашей аллегории, принадлежит ко второму классу. В самом деле, в этой геометрии прямая представляет собой большой круг шара, а, как известно, два большие круга не могут быть параллельными. Навигационная геометрия будет различной для планет разной величины. Она зависит от того, что́ мы называем кривизной поверхности. Во всех неэвклидовых геометриях, о которых я говорил, вводится некая абсолютная величина, называемая по аналогии „кривизной“. Поэтому-то эти геометрии и называются „неплоскими“ в отличие от „плоской“ геометрии Эвклида. Однако из этого названия отнюдь нельзя заключить о том, что они применимы лишь на кривых поверхностях. По мере того как абсолютная величина, о которой я говорил, приобретает все меньшие и меньшие значения, неэвклидова геометрия стремится к геометрии Эвклида, как к пределу. Кроме того, неэвклидова геометрия в применении к ограниченному участку тем более приближается к геометрии Эвклида, чем меньше рассматриваемый участок, подобно тому как в нашей аллегории жители южных островов считают свою элементарную геометрию достаточной для домашних нужд.

Истинны ли эти геометрии и ложна ли геометрия Эвклида? Это вопрос, который в настоящее время не должен больше занимать наши умы. Истинны ли шахматы? Принимая, что геометрия не содержит в себе противоречий или абсурдов, мы считаем ее истинной в той степени и в тех рамках, в каких она для нас интересна и полезна. Разумеется, законы навигации

истинны, и единственная двухмерная геометрия, которая согласована с ними, — неэвклидова геометрия. Это одна из так называемых „геометрий с положительной кривизной“. Этому классу геометрий суждено было сыграть исключительную роль в современных теориях тяготения, с начатками которых мы познакомимся в четвертой главе. Так называемая геометрия отрицательной кривизны, типичными представителями которой являются геометрии Лобачевского и Болиаи, до сих пор имела довольно малое практическое применение, однако их простота и изящество построения доказывают почти с несомненностью, что и они со временем смогут принести большую практическую пользу.

Эти „неплоские“ геометрии, вероятно, хорошо знакомы многим из вас, поэтому я не буду их долго обсуждать, а остановлю ваше внимание на двух новых геометриях, которые были недавно опубликованы в журнальных статьях. Одна из них по своей важности сможет соперничать с геометрией Эвклида. Постулат Эвклида о параллельных линиях подвергался штурму в течение столетий, и вместе с тем очень мало внимания было обращено на постулат, относящийся к кругам. В этих же двух новых геометриях принимается постулат о параллельных линиях и отбрасывается постулат, относящийся к кругам. [1]

Теперь разрешите мне в кратких словах дать очерк развития мысли геометров от Эвклида до наших дней. Основная задача геометрии — сравнивать между собой раз-

---

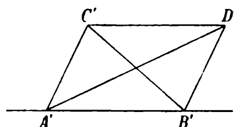
[1] Наиболее важная из этих двух геометрий (геометрия асимптотического вращения) в принципе была обдумана Минковским; это видно из нескольких иллюстраций в его книге „Пространство и время“. Детали этой геометрии и вторая геометрия (геометрия истинного вращения) были частично проработаны проф. Вильсоном (F. B. Wilson) и мной (Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences, 1912).

личные фигуры по их метрическим свойствам. Язык имеет свои слова, и правила употребления слов мы называем грамматикой. Шахматы имеют свои фигуры и свои ходы, арифметика свои числа и операции над ними, геометрия свои фигуры и методы их сравнения. Точно так же как шахматные правила пригодны исключительно для шахмат и ни для каких иных игр, так и правила эвклидовой геометрии применимы не ко всем геометриям, а лишь к геометрии Эвклида.

Тот метод, который применял Эвклид для сравнения между собой геометрических фигур, представляет собои по существу мысленно проводимый метод вырезывания фигур из бумаги и их перемещение с целью путем наложения установить различие между рассматриваемыми фигурами. Всякий такой метод содержит в себе два вида перемещения фигур: 1) поступательное перемещение (без вращения), 2) вращательное перемещение (без поступательного). Мы увидим, что эти два типа перемещения связаны: первый с постулатом о параллельных линиях, второй — с круговым постулатом Эвклида.

В настоящее время мы имеем более широкий кругозор, нежели Эвклид, мы пошли дальше по пути идеализации физического процесса перемещения фигуры, вырезанной из дерева или бумаги. Мы не желаем быть ограниченными специальными свойствами или несовершенством изготовления подобных фигур, в то же время мы не хотим действовать под влиянием одной нашей интуиции. Вместо того мы вводим совокупность правил, в соответствии с которыми мы и поступаем до тех пор, пока мы играем в эту специальную игру, именуемую геометрией. Таким образом мы вводим правила и для того процесса, который в дальнейшем будем называть **преобразованием**. При этом фигура не переносится непосредственно из одной части плоскости в дру-

гую, а воспроизводится в другой части нашего чертежа, при чем правила этого воспроизведения таковы, что новая фигура имеет те же самые внутренние метрические свойства, что и прежняя. Условимся считать площадь, длину определенной стороны, угол между данными сторонами в новой фигуре тождественными с соответствующими элементами старой. Мы удовлетворимся рассмотрением двух типов преобразований и назовем их „параллельный перенос“ и „вращение“.



Первое из этих преобразований определяется таким образом, чтобы каждая линия в фигуре, полученной путем параллельного переноса, была параллельна соответствующей линии в первоначальной фигуре. Этот тип перемещения показан на рис. 2, на котором *A*, *B*, *C*, *D* исходная фигура, а *A'*, *B'*, *C'*, *D'* ее репродукция. Такое преобразование всегда можно совершить в один прием или же путем группы последовательных перемещений, из которых каждое является параллельным переносом. В виду того, что при параллельном переносе отрезок преобразуется в соответствующий отрезок, сохраняя в точности свою длину, оказывается возможным сравнивать между собой по длине не только различные участки отрезка *AB*, но также участки отрезка *AB* с участками отрезка *A'B'*. Другими словами, мы сможем сравнивать длины отрезков двух параллельных линий; однако наши правила не говорят нам ничего по

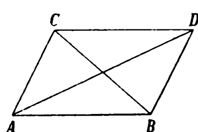
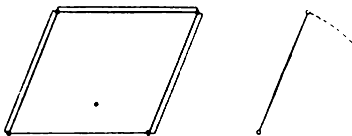


Рис. 2.

вопросу о сравнении длин отрезков непараллельных (напр. *AB* и *AD*). Конечно, *AD* выглядит длиннее, но наш глаз воспитан исключительно на эвклидовых методах измерения, и поэтому мы теперь же условимся высказать наше суждение только после того как мы выработаем определенные правила для сравнения длин непараллельных отрезков.

В дальнейшем, если нам позволит время, мы разовьем более полно геометрию постулата параллельности и связанного с ним параллельного переноса и получим таким образом большое количество теорем относительно треугольников и параллелограммов, которые можно найти в геометрии Эвклида, но, вместе с тем, встречающихся и в других „плоских" геометриях, к описанию которых я и перехожу.


Рис. 3.

Теоремы, о которых я только-что говорил, представляют собой, однако, лишь часть планиметрии Эвклида: остальная часть зависит от второго постулата и связанного с ним преобразования, называемого вращением. Оба преобразования эвклидовой геометрии могут быть выполнены с помощью двух инструментов, изображенных на рис. 3. Один из них (левый) — „параллельное правило" — состоит из четырех планок, скрепленных шарнирами; другой (правый) — циркуль, который в своем простейшем виде представляет собой веревку, закрепленную в конце. Первый инструмент мы можем применять во всех „плоских" геометриях; второй должен быть изменен в зависимости от того, какое преобразование мы выберем вместо эвклидова вращения.

Теперь я опишу инструмент, который мы назовем неэвклидовым циркулем (рис. 4). Он состоит из двух планок *AB* и *BC*, из которых первая закреплена непо-

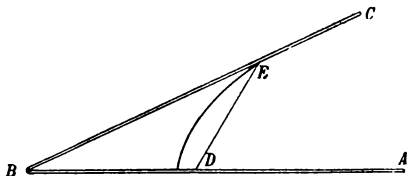


Рис. 4.

движно, а вторая может вращаться вокруг шарнира в точке *B*. В точках *E* и *D* к рейкам прикреплена веревка. Кусок мела прижимается к рейке *BC* таким образом, чтобы верхняя часть веревки совпадала с направлением рейки, после чего, соблюдая это условие, планку *BC* начинают осторожно вращать около *B*. При этом кусок мела описывает кривую, влево от прямой *ED* на рис. 4. Если бы я воспользовался более сложным и в то же время более общим аппаратом, то циркуль нарисовал бы аналогично кривые (рис. 5), которые нисколько не похожи на круги, но с точки зрения Эвклида выглядят гиперболами с нанесенными пунктиром асимптотами (линии, к которым бесконечно приближается кривая,

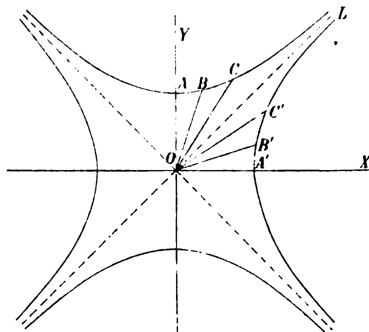


Рис. 5.

никогда их не пересекая). Теперь мы определим правила преобразования, которые линию *OA* превращают в *OB* и *OB* в *OC*, в то время как *OA'* переходит в *OB'*, которая в свою очередь обращается в *OC'*. Я рискну назвать это преобразование вращением.

Здесь я следую примеру Хэмпти Дэмпти из книжки „Through the Looking-Glassru“ („В подзорную трубу“), который говорит: „Когда я употребляю слово, то оно значит не более и не менее того, что я хочу им сказать“. Конечно, и Хэмпти Дэмпти и я — мы оба неправы, так как совершенно невозможно освободить слово от всех последовавших бесчисленных наслоений даже в том случае, если с него окончательно сорвать все покровы, как это в свое время собирались сделать со словом „газ“. Однако в нашем случае этого делать и не стоит. Пожалуй, будет гораздо благоразумнее разыскивать сходство неэвклидова и эвклидова вращения, нежели их различия. Вы можете назвать новый процесс абсурдным или иррациональным вращением, так как, в самом деле, распространение понятия „вращение“ на этот новый процесс асимптотического вращения имеет очень много общего с распространением понятия „число“, первоначально относившегося к числам натурального ряда, сперва на рациональные, потом на иррациональные дроби.

Расширение понятия о вращении неизбежно приводит к обобщению понятия о расстоянии, так как мы условились довольствоваться правилами нашего преобразования при сравнении длин двух непараллельных линий. Поскольку при нашем преобразовании *OA* переходит в *OB* и *OB* в *OC*, мы должны сказать, что точки *A*, *B*, и *C* равно отстоят от центра *O*. Таким образом мы устанавливаем законы геометрии в той же мере простой и красивой, как и геометрия Эвклида, и которая имеет

столько важных приложений, что мы, надеюсь, скоро увидим, как эта геометрия будет преподаваться в наших школах на ряду с эвклидовой.

Наконец, мы установим правила для третьего типа вращения, не кругового и не асимптотического, а прямолинейного. Три типа кривых вращения приведены на рис. 6. Новый тип вращения соответствует тому, что физики называют сдвигом; оно аналогично движению колоды карт, при чем верхняя часть колоды переме-

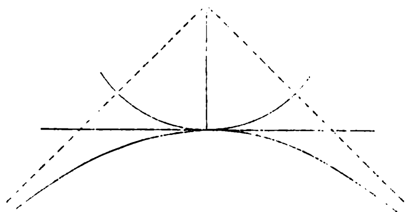


Рис. 6.

щается параллельно неподвижному основанию колоды. Геометрия вращения-сдвига, определяемая таким перемещением, страдает отсутствием полноты и содержательности эвклидовой геометрии и геометрии асимптотического вращения. Поэтому она может быть названа „вырожденной геометрией".

Таким образом, отступления от того или иного из двух эвклидовых постулатов дают четыре основных геометрии, расположенные в прилагаемой таблице по обеим сторонам от центральной эвклидовой геометрии.

Кривизны нет	Кривизны нет	Кривизны нет	Отрицательная кривизна	Положительная кривизна
Асимптотическое вращение	Вращение-сдвиг	Круговое вращение	Круговое вращение	Круговое вращение

Две системы справа — старые неэвклидовы геометрии, две слева — новые. Могут быть и другие отрасли математики, достойные названия геометрий, однако эти пять с их гибридами образуют большое семейство, которое может считаться обобщением эвклидовой геометрии.

Так как я не хочу занимать ваше внимание в течение этой главы обсуждением вопросов чисто технического характера, то это почти все, что я хотел сказать по поводу неэвклидовых геометрий. Однако существуют некоторые специальные особенности двух плоских геометрий, на которые я буду ссылаться в дальнейших главах. Поэтому здесь я приведу без всякого доказательства некоторые интересные черты этих геометрий.

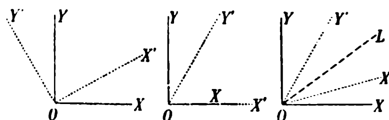


Рис. 7.

Выше я указал отличительные черты операции вращения в трех геометриях; посмотрим теперь, что сделается при этих трех видах вращения с двумя перпендикулярными линиями. На рис. 7 мы видим слева случай эвклидова кругового вращения, при котором OX и OY заменяются OX' и OY'. В середине помещено вращение-сдвиг, при котором только один из перпендикуляров меняет свое направление, но тем не менее, согласно нашим правилам, мы должны сказать, что раз OX перпендикулярно OY, то и OX' перпендикулярно OY'. Наконец, справа представлено асимптотическое вращение, при котором OX и OY, сохраняя свою перпендикулярность, двигаются подобно ножницам по направлению к линии OL, которую мы назвали асимптотой.

Тот же самый процесс представлен на рис. 5, на котором перпендикулярные линии OA и OA' переходят при вращении в OB и OB', а эти в свою очередь в OC и OC'. Таким образом вращение может быть повторяемо до бесконечности, при чем пары перпендикуляров приближаются все ближе и ближе к направлению OL. Таким образом невозможно путем асимптотического вращения линию OA преобразовать в линию OA', так как эти линии принадлежат к разным классам, разделенным особыми линиями, иначе асимптотами (на рис. 5 изображены пунктиром).

Здесь следует отметить очень важное свойство этих особых линий. В виду того, что OA вращением преобразуется в OB, а затем и в OC и так до бесконечности, все время сохраняя одну и ту же длину, при чем концы этих линий приближаются к асимптоте, пересекая ее в бесконечности, т. е. дальше любой наперед заданной точки от центра, приходится допустить, что длина любого расстояния, отмеченного на одной из основных линий, равна нулю.

Если мы продолжаем развивать асимптотическую геометрию, то мы наталкиваемся на поразительное обстоятельство. Оказывается, что почти каждая из теорем Эвклида имеет аналогию среди теорем новой геометрии. Мало того, самый ход доказательства в большинстве случаев совершенно аналогичен и даже самые формулировки теорем в общем тождественны, за исключением конечного результата, который представляется, если можно так выразиться, противоположным по знаку.

Соответствующие теоремы из геометрии сдвига дают обычно результат, представляющий компромисс между соответствующими заключениями геометрии кругового и асимптотического вращения.

Так, например, в асимптотической геометрии квадрат гипотенузы прямоугольного треугольника равен разности квадратов двух катетов. На рис. 8 изображены две параллельные кривые *OA* и *QR* и прямая *OQ*, к ним перпендикулярная. Проведем через точку *O* любую прямую *OB* и восстановим к ней в точке *O* перпендикуляры, согласно правилам трех геометрий. Мы получим *OR* в эвклидовой, *OP* в асимптотической и неизменно *OQ* в геометрии сдвига.

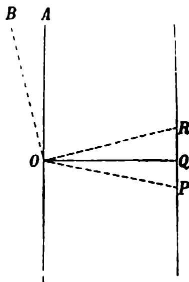


Рис. 8.

Обозначив через *s* величину наклона линии *OA* по отношению к *OB* (в эвклидовой геометрии мы называем ее тангенсом угла, образуемого прямым и *OA* и *OB*), мы получим отношение длин трех новых перпендикуляров к длине прежнего для геометрий: эвклидовой, сдвига и асимптотического вращения равным соответственно:

$$\sqrt{1+s^2}; \quad 1; \quad \sqrt{1-s^2}.$$

Рассмотрим три линии *OA*, *OB* и *OC* на рис. 9. Если s_1 наклон первой линии по отношению ко второй, а s_2 наклон второй по отношению к третьей, то наклон первой по отношению к третьей для геометрий: эвклидовой, сдвига и асимптотического вращения будет равен соответственно:

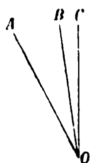


Рис. 9.

$$s_3 = \frac{s_1 + s_2}{1 - s_1 s_2}; \qquad s_3 = s_1 + s_2; \qquad s_3 = \frac{s_1 + s_2}{1 + s_1 s_2}.$$

Я не буду дальше останавливаться на обсуждении этих интересных геометрий. Этих нескольких примеров достаточно для выяснения их характера и для всех наших дальнейших рассуждений.

III. ВРЕМЯ И ДВИЖЕНИЕ.

Мы можем вообразить себе человека, не имеющего представления о числе; мы можем даже представить себе картину того, как пространственные восприятия постепенно складываются у субъекта в чувство пространства; кажется, однако, совершенно невозможным представить себе мыслящее существо, не имеющее чувства времени. Возможно, что первое познание времени обязано последовательной смене наших мыслей, как говорит Эддингтон: „Наши мысли сами по себе, без какого бы то ни было влияния внешних восприятий пробуждают в нас „ощущение полета времени".[1] Первоначальная концепция времени, как некоторая последовательность ощущений и мыслей, чрезвычайно усложняется при дальнейшем развитии индивидуума, и в качестве необходимого элемента в эту концепцию прежде всего входит понятие причинности.

Научная, численная система времени (в современной науке существует несколько независимых систем) играет такую большую роль в науке, что одной из моих наиболее интересных задач в этой книге явилась попытка анализировать структуру понятия времени и разложить этот комплекс на составляющие его компоненты.

Для того чтобы создать науку, необходимо прежде всего, насколько возможно, исключить из наших пред-

---

[1] А. С. Эддингтон: „Математическая теория относительности" и „Пространство, время и тяготение".

ставлений все чисто субъективное; по отношению ко времени первый шаг в этом направлении был сделан нашими отдаленными предками, когда они решили измерять время не собственными чувствованиями, а движением солнца и луны. Вся наша изобретательность вряд ли позволит нам построить в будущем более точные хронометры. Изучение движения тел привело к новой науке — кинематике, науке более широкой, чем геометрия. Кинематика включает в себя всю геометрию и в нее входят элементы времени. Философы всегда рассматривали пространство и время как родственные абстракции, но эта неразрывность связи между ними, кажется, впервые была отмечена Лейбницем, на которого мы уже ссылались. „Пространство есть совокупность сосуществующих вещей“, говорит он, или еще: „Пространство и время вместе определяют последовательность возможностей во всей вселенной“. Эти слова Лейбница оказались пророческими; та же мысль более точно была формулирована Минковским[1] в такой блестящей форме: „Отныне пространство само по себе и время само по себе уйдут в царство теней, и лишь некоторый союз между ними сохраняет право на существование“.

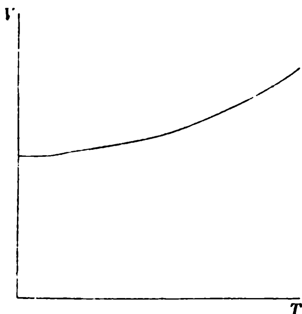


Рис. 10.

[1] Минковский. Пространство и время. — По существу та же идея была сто лет тому назад высказана в забытом теперь сочинении Фехнера „Пространство имеет четыре измерения“.

Давно уже стало обычным для ученых пользоваться декартовым методом диаграмм, когда они хотят графически представить зависимость одного количества от другого. На рис. 10 (стр. 51) показан ход изменения некоторого объема воды с изменением (повышением) его температуры. Мы говорим, что по вертикальным линиям „отложен" объем, по горизонтальным — температура воды. Наши регистрирующие приборы дают подобные же диаграммы; регистрирующий термометр, например, показывает изменение температуры с течением времени.

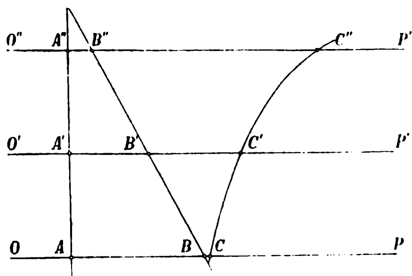
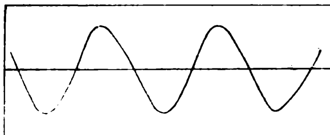


Рис. 11.

Подобными же диаграммами мы можем представить движение тел, отмечая их положения в различные промежутки времени. Пусть на некоторую прямую нить, с узлами на каждом из концов, надеты между узлами три бусинки. Мы снимаем моментальную фотографию с нити и бус на ней и получаем нижнюю линию рис. 11; здесь *O* и *P* узлы на нити, *A*, *B* и *C* бусы; через минуту мы опускаем ниже на один сантиметр фотографическую пластинку и снова снимаем фотографию, причем получаем линию *O' P'* с точками *A'*, *B'* и *C'*; далее мы повторяем этот процесс и по истечении 2-й минуты имеем *O''*, *P''*, *A''*, *B''*, *C''* и т. д. Если бы мы могли,

не закрывая объектива аппарата, двигать нашу пластинку с постоянной скоростью (один сантиметр в секунду), то, очевидно, получили бы на ней ряд непрерывных линий $O\ O'\ O''$, $A\ A'\ A''$, $B\ B'\ B''$ и т. д.

Исследуя рисунок 11, мы можем сказать, что в то время как бусинка A находилась в покое, бусинка B двигалась по направлению к A с постоянной скоростью, в то время как бусинка C двигалась от A с постоянно возрастающей скоростью, или, как мы говорим, равномерно-ускоренно. Столкновение A и B есть некоторое событие[1] и представится точкой в пространстве и времени, которая на один сантиметр лежит вправо от узла O и на протяжении $2^1/_2$ минут от начала эксперимента. Вся диаграмма в целом может быть названа пространственно-временной картиной положения бусинок на нити.


Рис. 12.

Тяжелый маятник с пером на конце чертит сам пространственно-временную диаграмму на движущемся равномерно под ним листе бумаги (рис. 12). Как фигура 11,

[1] Чтобы избежать недоразумения, в наших дальнейших рассуждениях мы будем под „событием" подразумевать те случаи, которые имеют незначительное протяжение в пространстве и времени. Если бы мы изучали современную историю Европы, то французскую революцию мы должны были бы трактовать как некоторый случай, разыгравшийся на некотором, достаточно большом, числе квадратных миль в течение ряда лет; если же мы изучали бы историю солнечной системы, то пространственно-временное протяжение этой революции было бы ничтожно по сравнению с пространственно-временным протяжением солнечной системы, и мы могли бы первую рассматривать как событие, другими словами, она представилась бы точкой в нашей пространственно-временной картине.

так и 12 представляют движение тел только вдоль одной линии, и, пользуясь плоскими диаграммами, мы большего не сможем получить. Но если мы для построения наших диаграмм возьмем пространство трех измерений, отмечая на двух горизонтальных, перпендикулярных друг к другу линиях положение тела и плоскости и на вертикальной попрежнему — время, то мы можем получить кривые, представляющие движение тела на плоскости, например, движение шара на бильярдном столе.

Солнце и планеты движутся примерно в одной плоскости, и я попытался построить модель простран-

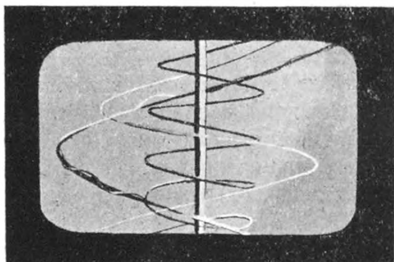


Рис. 13.

ственно-временной картины солнца и первых трех планет; фотография этой диаграммы представлена на рис. 13. Центральная ось представляет солнце, которое (предположим) находится в покое, вследствие чего его пространственно-временной след представляется прямой линией; внутренняя винтовая линия дает движение по орбите Меркурия, следующая за ней относится к Венере и, наконец, внешняя изображает движение земли и луны. Последняя винтовая линия проходит через один период возмущения, и поэтому интервал времени между двумя крайними положениями нашей картины равен году.

Полная картина движения тел в пространстве трех измерений дается некоторой моделью в четырехмерном пространстве, которая всегда может быть отображена проекциями в трехмерном пространстве; конкретное осуществление такой четырехмерной модели, однако, всегда трудно представить себе сколько-нибудь наглядно.

Что же мы можем теперь думать о той совокупности фигур, о которой я говорил, определяя геометрию? Мне много пришлось размышлять над этим сложным и запутанным вопросом, и мне кажется, что ответ проще, чем данный в предыдущей главе. Геометрия — это больше чем простая совокупность фигур; сюда нужно прибавить еще и операции, которые позволяют сравнивать одну фигуру с другой и таким образом позволяют установить правила измерения. Если мы получаем интересные результаты, подвергая наши фигуры различным операциям и перемещениям, то только в этом случае мы можем утверждать, что имеем истинную геометрию.

Я намерен теперь применить этот принцип к нашим диаграммам кинематики в той форме, как эти диаграммы задаются ньютоновыми положениями. Основные постулаты кинематики Ньютона могут быть высказаны следующим образом (я не претендую здесь на полноту):

1. Существует абсолютное измерение промежутков времени и пространственных расстояний. Если ряд (совершенных) хронометров был собран в одном помещении и все они были поставлены на один и тот же час, то всегда и везде, куда бы эти хронометры ни были перенесены, время между двумя событиями они определяют вполне однозначно.

Этот постулат может быть назван постулатом универсальности времени.

2. Не существует общего „нулевого“ часа. Промежуток времени между двумя событиями не зависит от того, как поставлен данный хронометр; совершенно безразлично — были ли все наши хронометры в первый момент поставлены на 12 или на 6 часов.

Этот постулат может быть назван постулатом относительности положений во времени.

3. Точно также и пространственное расстояние между двумя событиями не зависит от выбора базы для измерений, исходя из которой были произведены самые измерения, или, как сказал бы геометр, это расстояние не зависит от выбора той или иной координатной системы.

Этот постулат может быть назван постулатом относительности положения в пространстве.

4. Если два тела движутся одно относительно другого, то мы можем всегда считать, что одно из тел (любое) находится в покое, другое же движется.

Этот постулат может быть назван постулатом относительности движения.

Нельзя не отметить, что только первый постулат оперирует с абсолютными величинами, последние же три являются постулатами относительности.

Положения Ньютона позволяют установить некоторые теоремы. Пусть *B* движется по отношении к *A* и *C* — в том же направлении по отношению к *B*; скорость *A* по отношению к *C* будет тогда равна сумме этих двух скоростей; в левой половине рис. 14 представлена наша нить с тремя бусинками в различные моменты, разделенные единицей времени (абсолютной). Пусть бусинки отправляются в некоторый момент вместе и движутся с различной скоростью, и пусть *QA*, *QB* и *QC* представляют их пространственно-временные следы; относительная скорость двух бусинок измеряется величиной их расхождения в единицу времени. Это

расхождение есть AB для первой и второй бусинки, BC — для второй и третьей, и AC для первой и третьей; из чертежа очевидно, что AC равна сумме AB и BC.

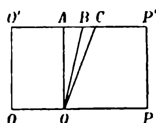
Постулаты Ньютона допускают возможность существования любой величины скорости, предела этой величине по Ньютону не существует. В самом деле, пусть некоторое тело находится в покое, а другое движется по отношению к нему по какому-либо определенному направлению со скоростью одной мили в секунду; по четвертому постулату мы можем считать второе тело находящимся в покое и можем найти третье тело, движущееся по отношению ко второму с той же скоростью и в том же направлени, как и второе по отношению к первому. Рассуждая таким образом, мы можем по этой теореме сложения скоростей найти тело с любой, заранее нами заданной, скоростью.

Рассмотрим теперь некоторые следствия постулатов 2 и 3. Если при построении фигуры 11 мы бы строили нашу диаграмму за три минуты до начала движения и считали бы наши расстояния от точки, лежащей на два фута левее узла O, мы получили бы, конечно, несколько иную картину; однако линии на картине (с начала движения) остались бы теми же, время между столкновениями двух бусин осталось бы тем же самым, наклон между линиями AA и BB, характеризующий относительную скорость движения бусинок, был бы тем же, что и в предыдущем случае. Другими словами, характерные свойства картины оказываются независящими от начала отсчета времени и пространства.

Мы подходим теперь очень близко к новой геометрии; посмотрим, вытекают ли из наших постулатов перемещения, соответствующие вращениям в эвклидовой геометрии. Если мы будем анализировать левую сторону рисунка 14, то должны будем заключить, что нить, узлы O и P

и бусинка A находятся в покое, а бусинки B и C движутся; по постулату относительности мы можем считать, что бусинка B находится в покое, а остальные бусинки и сама нить с узлами O и P движутся; в этом предположении мы и получаем правую сторону нашего рисунка. Это построение уже должно толковаться не геометрией Эвклида, а более сложной геометрией вращения-сдвига.

В самом деле, производя сопоставления, мы находим соответствие каждой детали кинематики Ньютона и этой странной геометрии; теперь расстояния определяются метром по параллельным линиям OP и $O'P'$, время отсчитывается по некоторой другой линии, в то время как наклон между OA и OB дает величину скорости. Теорема этой геометрии (мы говорили о ней в предыдущей главе), позволяющая найти наклон между OA и OC по сумме наклонов OA и OB, и OB и OC ($s_3 = s_1 + s_2$), вполне идентична с законом сложения скоростей ньютоновой кинематики.



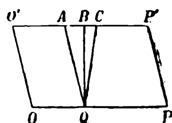


Рис. 14.

Если бы раньше было показано, что кинематика Ньютона может быть сведена к системе геометрии, а именно к одной из очень простых систем, разве не мог человек, подобный Минковскому, много лет назад сказать с полной справедливостью то, что я требовал в начале этой главы? Открытие этого совпадения могло бы поднять уверенность в правильности кинематики и вызвать интерес к изучению соответствующей геометрии. Если математические теории охватывают большую группу экспериментальных фактов, мы уверены, что они будут пригодны и для вновь открывае-

мых явлений. Мы уверены, что природа не играет с нами плохих шуток; мы думаем, что математическая теория, совпадающая с опытом, во многих случаях не приведет нас к ошибкам относительно новых наблюдений. Мне кажется, что в этом все значение математического исследования в физике.

Однако, если мы замечаем, что хотя бы и в малейшей степени экспериментальные данные отклоняются от теоретических предсказаний, мы должны быть осторожны; в этом случае нам не приходится говорить, что наши математики ошибаются, нам нужно сказать, что мы выбрали ложную систему представлений.

Предположим, что, получив ряд экспериментальных данных, мы наносим их нашим обычным способом на диаграмму; эти данные образуют ряд точек. В запасе в ящике у нас есть набор трафаретов кругов, эллипсов, гипербол и парабол, сделанных из картона; прикладывая эти трафареты к нашим точкам, мы убеждаемся, допустим, что эти точки лучше всего ложатся на параболу. Мы склонны думать, что парабола лучше всего выражает наше явление и ждем, что следующие экспериментально полученные точки будут ложиться на продолжение параболы. Продолжая наши эксперименты, мы обнаруживаем, что дальнейшие точки уже не ложатся на вычерченную нами кривую. Мы не выбрасываем, однако, параболу в корзинку для бумаг и не говорим, что она вообще не годится. Мы прячем параболу в ящик для другого случая и выбираем новый трафарет, быть может гиперболу, которая годится как для старых, так и для новых опытов.

Могла ли простая ньютоновская механика сохраниться в науке с развитием экспериментальной физики? Первое открытие, которое могло вызвать сомнение в этом, было сделано датским астрономом Рёмером (1675), ко-

торый заметил, что частота затмений спутника Юпитера становилась немного больше, когда земля двигалась к Юпитеру, чем когда она двигалась в обратном направлении, — явление, очень похожее на повышение тона свистка локомотива при приближении и понижение его при удалении от нас.

Рӧмер правильно объяснил этот результат, предположив, что свет распространяется с конечной скоростью. Его открытие впервые заставило поднять вопрос о сущности одновременности двух событий. После Рӧмера мы не можем уже сказать про два события, которые видим в один и тот же момент, что они одновременны. Мы видим, что на небе вспыхнула новая яркая звезда, но мы говорим, что в действительности она загорелась много тысяч лет тому назад, что с тех пор свет все время путешествовал и только в данный момент дошел до нас. Если мы знаем расстояние до звезды и скорость света, мы можем составить себе представление об этом времени; весь расчет этот, однако, может оказаться ошибочным, если скорость распространения света зависит от движения земли или же наблюдаемой нами звезды, и этот вопрос позднее дал много важного физикам.

В процессе дальнейшего развития физики было установлено, что скорость света должна рассматриваться как одна из основных постоянных природы, которая управляет не одними только световыми явлениями; Вебер, изучая некоторые электромагнитные явления, нашел для этой постоянной ту же самую величину в 300 000 километров в секунду. Если бы мы никогда не знали ни света, ни других форм лучистой энергии, эта постоянная в 300 000 *км/сек* все же вошла бы в формулы математической физики.

Само собой разумеется, что численное значение этой

постоянной зависит от единиц измерения как пространства, так и времени, и многие уравнения физики значительно упростились бы, если бы она была принята равной единице. Это предложение много раз делалось за истекшие полвека и рано или поздно будет, конечно, принято наукой. В данной книге для меня целесообразно принять скорость света равной именно единице. Если мы сохраним сантиметр в качестве единицы длины, то должны будем выбрать некоторую очень малую единицу времени, которую я здесь назову джиффи; таким образом скорость света будет равна сантиметру в джиффи.

Повторное появление в различных областях физики одной и той же скорости никоим образом не вытекало из геометрии и кинематики Ньютона, и поэтому возникло сомнение в том, действительно ли выбрана для кинематики надлежащая система математики. Однако полное развитие этих сомнений было остановлено своего рода ловушкой, в которую попали мысли физиков. Я говорю здесь о светоносном эфире.

Часто в наших заботливо культивируемых садах мысли некоторые выпалываемые травы растут с такой силой, что заглушают соседние полезные растения. Подобно этому научная литература XIX столетия заросла спорами об эфире, об его упругих свойствах, плотности, его движении вместе с землей и через землю. Механизм, который был призван быть слугой, стал нашим хозяином; только теперь, когда мы избавились от этого угнетения, мы видим, что отвязались от, так сказать, ночного кошмара.

Остановимся несколько на этой теории эфира. Уже в довольно старых спорах было выяснено, что свет распространяется подобно распространению волн в воде, а не подобно тем возмещениям воздуха, которыми со-

провождается движение в нем снаряда; среда, в которой распространяются световые волны, получила название эфира. Мы должны считать, что путь любого светового луча зависит не только от рода луча и свойств вещества, через который он проходит, но также от свойств и движения несущего эфира. Гипотеза существования эфира, будучи совершенно произвольной, лишь усложняла простые проблемы. Эта вера в эфир и справедливость ньютоновской кинематики привела к ряду недоразумений и парадоксов, как только физиками было изучено движение частиц не со скоростью в несколько футов и миль в секунду, а со скоростью весьма близкой к скорости света; такие быстрые частицы наблюдаются в излучении радиоактивных элементов.

Знаменитые опыты Майкельсона-Морлея еще более резко подчеркивали несовершенство постулатов Ньютона. Путь к разрешению целого ряда затруднений теоретической физики был предложен Лоренцом и Фитцжеральдом, предположившими, что тела при движении укорачиваются в направлении движения. Лоренц замечательным способом попытался уложить в рамки уже существующих теорий все новые экспериментальные данные, но этим фактически проложил путь новым теориям. Кроме прежнего универсального ньютоновского времени нужно было приписать каждой движущейся системе свое собственное „местное“ время. Эйнштейн завершил это новое учение о времени, показав, что вся сложность, получившаяся при развитии ньютоновой кинематики, отпадает, если допустить, что собственное „местное“ время любой системы столь же истинно, как и „местное“ время другой. Это утверждение влекло за собой отказ от универсального времени Ньютона, а также уничтожало прежние представления о вездесущем эфире.

Эфир остался только красивым словом, которое, может быть, когда-либо вернется в науку, если только оно будет предварительно очищено от всех сбивающих с пути кроющихся в нем недоразумений.[1]

Эйнштейновская теория относительности может быть изложена различными путями. Самый простой путь, повидимому, заключается в утверждении, что для всех возможных скоростей перемещения как материи, так и энергии скорость распространения света является верхним пределом; если мы будем выражать скорость в единицах $\frac{\text{сантиметр}}{\text{джиффи}}$, то этот постулат требует, чтобы любая скорость энергии и материи лежали между 0 и 1. Очень многие отказываются принять этот предел скоростей и чувствуют себя стесненными постулатом Эйнштейна; нам приходится посоветовать таким людям представить себе температуру, меньшую —273°С, или предложить им построить угол, синус которого не лежал бы между нулем и единицей.

Мы видим, что первый постулат ньютоновой кинематики требовал любых скоростей для тел, а поэтому постулат Эйнштейна заставляет нас оставить предста-

---

[1] Исторически—опыты Майкельсона-Морлея вызвали на свет теорию относительности, хотя, как это часто случается в науке, уже полвека назад физики обладали таким экспериментальным материалом, который приводил к этой же теории. В наши дни опыты Майкельсона-Марлея повторяются и даже с большей точностью, при чем некоторым ученым удалось наблюдать небольшой эффект; он значительно меньше того, что искали Майкельсон-Морлей, но тем не менее, если бы эти измерения подтвердились и далее, они бы имели больше значение для физики и астрономии. Однако какое бы объяснение мы ни выбрали для этих результатов, вряд ли можно думать, что они заставят нас отказаться от теории относительности; быть может, нам придется только расширить наши кинематические представления, —но уже совершенно невероятно, чтобы физикам пришлось когда-либо вновь возвратиться к теории светоносного эфира.

вление об универсальном времени и связанную с ним геометрию.

Если мы будем подыскивать систему геометрии, которая отвечала бы новым представлениям, то заметим, что геометрия асимптотического вращения, которую нам дал гений Минковского, в малейших деталях равнозначна эйнштейновской концепции кинематики. Вспомним эту геометрию и обратимся к рис. 5 предыдущей главы. Мы можем сказать, что пунктирные линии делят все проходящие через *O* прямые на два класса, на прямые типа *OA* и *OA'*. Установим соответствие между кинематикой и геометрией и будем откладывать расстояния по линиям типа *OA* и время до линиям *OA'*. Если наш рисунок в целом представляет пространственно-временную картину, и равные между собой *OA*, *OB* и *OC* есть пространственно-временные следы трех часов, каждые из которых были в 8 в точке *O*, то в 9 первые часы будут бить в *A*, вторые в *B* и третьи в *C*.

Применим наши представления о времени к отождествлению кинематики с геометрией.

Нам показалось бы очень странным, если бы мы, доказав какую-нибудь теорему по отношению к некоторой фигуре, нашли бы, что она неверна по отношению к той же, но перевернутой фигуре; в геометрии не может быть и речи о такой диссимметрии. Подобно этому в кинематике не должно быть диссимметрии в прошедшем и будущем. Представим себе, что, рассматривая солнечную систему, мы захотели бы изучить изменения в положении эклиптики в пространстве; по изменениям, сделанным в течение одного года, мы можем определить положение эклиптики на 1000 лет вперед, но, конечно, мы можем сделать это и за тысячу лет назад с той же точностью, что и в предыдущем случае. С другой стороны, та-

кие явления повседневной жизни, как разрушение зданий и лесной пожар, обнаруживают поразительную диссимметрию прошедшего и будущего. Каким смешным нам кажется кино-фильм, когда оператор пускает ленту в обратном направлении. Вот эта-то диссимметрия, которая так необычна для путей кинематики, входит во все более сложные явления науки.

Я здесь позволю себе несколько отступить от нашей темы; почти ежедневно мы слышим фразу: „Время есть четвертое измерение пространства"; эта фраза, конечно, неверна. Равным же образом было бы бессмысленно говорить, что пространство есть второе, третье и четвертое измерение времени. Мы можем только говорить, что три измерения пространства и одно времени дают очень простое и естественное четырехмерное многообразие кинематики.

Теперь нужно было бы показать тождество между кинематической теорией относительности и геометрией асимптотического вращения; я остановлюсь здесь на нескольких примерах. Один из наиболее поразительных результатов теории Эйнштейна следующий. Если три тела движутся вдоль одной и той же прямой линии, и если v_1, есть относительная скорость A и B, а v_2 относительная скорость B и C, то v_3 — относительная скорость A и C не будет равна сумме этих последних, а будет выражаться формулой:

$$v_3 = \frac{v_1 + v_2}{1 + v_1 v_2}.$$

Согласно этому, если каждая из скоростей близка к скорости света, т. е. почти равна единице, сумма всегда несколько меньше единицы, меньше скорости света. Это же уравнение Эйнштейна выражает вместе с тем и закон сложения наклонов, который мы формулировали выше для геометрии Минковского.

Говоря об этом уравнении Эйнштейна, нельзя здесь пройти молчанием опыт Физо, произведенный им в середине прошлого столетия. Свет, распространяясь в некоторой прозрачной среде, например, стекле или воде, движется в ней со скоростью, меньшей чем та скорость, которую он имеет в свободном пространстве. Предположим теперь, что свет проходит через движущийся поток воды; останется ли скорость света той же, как если бы вода была в покое, или же она будет слагаться из скорости света в покоящейся среде и скорости движения струи? Эксперимент дал результат, лежащий между этими двумя возможностями, что было истолковано как частичное увлечение эфира материей. Много страниц математической физики было посвящено дискуссии по вопросу о взаимоотношениях между эфиром и материей, а между тем этот результат является необходимым по уравнению Эйнштейна.

Рассмотрим теперь таинственное укорочение движущихся тел, которое было предложено Фитцжеральдом и Лоренцом и приписано некоторой механической силе. По принципу относительности такое сокращение всегда является следствием движения тел. Вернемся к фиг. 8 последней главы; две параллельные линии *OA* и *OR* представляют следы двух концов линейки; в покоящейся системе мы располагаем ось времени вдоль одного из краев линейки и направляем ось пространства по перпендикулярной к ней линии *OQ*; тогда все точки линии *OQ* будут представлять положения различных частиц метра в некоторый данный момент. Предположим теперь, что наш метр приходит в движение; начертим другую ось времени *OB*, перпендикулярную к *OP*; длина *OP* метра теперь уменьшится, как это было показано в предыдущей главе, в отношении $\sqrt{1-s^2}$ или — что то же — в отношении $\sqrt{1-v^2}$, как этого и

требует уравнение изменения длины движущихся тел. Другие важные следствия принципа относительности будут приведены в пятой главе.

Все примеры, которые я здесь выбрал, могут быть представлены плоской диаграммой, но удивительный параллелизм между новой кинематикой и новой геометрией вполне может быть обнаружен лишь в четырехмерном многообразии пространства и времени. В этом четырехмерном многообразии оказывается возможным построить такую систему геометрических соотношений, которая во всех деталях выражает сложные теоремы науки об электричестве и магнетизме.

Я боюсь, что поступил неостроумно, излагая здесь теорию относительности. Этот принцип — теперь уже старая история, но мне хотелось передать вам хоть небольшую долю того восторга, который охватил нас, когда впервые мы услышали об этой странной, но заманчивой доктрине. Я вспоминаю долгую летнюю ночь, которую мы, Рихард Толмен и я, провели, тщетно надумывая различные возражения против Эйнштейна, — мы были убеждены правдой относительности. Когда я, тогда еще молодой химик, имел смелость представить первую работу по принципу относительности в Американском физическом обществе, то это было сделано с тем восторгом, который испытывает человек, первый раз слушающий великую симфонию или поэму.

IV. ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИИ.

Геометрические представления и понятие времени позволяют построить кинематику. Подобно геометрии, для которой совершенно несущественна внутренняя структура рассматриваемых объектов, кинематика оперирует с законами абстрактного движения, не заботясь о свойствах движущихся тел. Если мы теперь пожелаем развивать нашу науку дальше так, чтобы она включала не только представления времени и пространства, но и другие измеряемые величины, то мы должны выбрать из бесконечного ряда всяких свойств тел те, которые являются общими и характерными для всех. В качестве такого нового свойства была выбрана масса, и привлечение этого понятия в науку привело к новой дисциплине — механике.

Этот выбор не является необходимым и обязательным. Все учение об электромагнитных явлениях может быть построено из представлений пространства, времени и электрического заряда, не опираясь на понятие массы или законы механики. Механика и электромагнетизм в процессе развития науки часто соприкасались, возникали многие механические теории электромагнитных явлений, но в последнее время эти две науки как бы обменялись ролями, и теперь чаще встречаются электромагнитные теории механических явлений. Переход от геометрии через кинематику к каждой из больших областей знания заставил нас отойти как от формаль-

ности математики, так и от обыденного опыта. Эксперимент со сложной постановкой и аппаратурой кажется нам более убедительным. Настоящее положение науки позволяет думать, что обе дисциплины приобретут большую стройность за счет введения более сложных геометрических представлений.

Принимаясь за изучение механики, мы должны остановиться на развитии принципов статики; анализ этого развития раньше нас был удивительно представлен Махом [1] в его прекрасной книге. Когда Архимед открыл свойства рычага, он начал строить свои рассуждения с самоочевидного, по его мнению, положения о том, что „величины равных весов, действующих на равных расстояниях, находятся в равновесии". Если бы два совершенно одинаковых тела были подвешены на равных расстояниях от их общей точки опоры, то Архимед был бы очень удивлен, если бы ему сказали, что они не будут в равновесии, что некоторая неровность земной коры может быть причиной поднятия одного и опускания другого тела. Если, однако, исключить такую асимметрию внешних условий, то станет очевидным, по принципу достаточного основания, что тела должны находиться в положении равновесия. Предположим, однако, что эти два тела не совсем одинаковы, что они отличаются по форме, цвету или химической природе. Можем ли мы a priori утверждать, что эти свойства совершенно несущественны в данном случае и что масса (или вес) определяет равновесие? Проще всего,

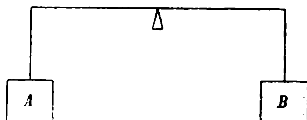


Рис. 15.

---

[1] Мах. Механика и ее историческом развитии.

казалось бы, выбрать вес как такую характеристику, которая бы определяла равновесие тел при таких обстоятельствах. Но не сделаем ли мы ошибки, делая такое определение? Дадут ли экспериментальные наблюдения равновесие между *A* и *C*, если *A* уравновешивает *B*; *B* уравновешивает *C*; можно ли утверждать, что два веса, равные весу третьего тела, равны между собой? В определениях часто заключаются эмпирические законы.

Если бы мы занялись анализом архимедовых дедукций, мы бы не смогли считать его доказательства совершенно убедительными; вместе с тем существуют ли такие вещи, относительно которых можно утверждать, что они абсолютно строго доказаны? Нельзя считать доказательством попытки строить новые утверждения, базируясь на ранее принятых. Мы можем сомневаться в правильности доводов того или иного ученого, несмотря на всю очевидность нового закона или новой теории. Сам ученый, вероятно, никогда не верил во все его доводы или, во всяком случае, верил в них не всегда. Более того, он вынужден был часть своих доводов излагать с меньшей строгостью, чем это следовало бы, и иногда даже вводить для этой цели совершенно неубедительные элементы.

Можем ли мы думать, что Рей,[1] первый ясно фор-

---

[1] Jean Rey. The Increase in Weight of Tin and Lead in Calcination (1630). Alembic Club Keprinits. В последнее время возникло так много насмешек над недостатком скромности у ученых, что я не могу удержаться и не привести заключительных слов статьи Рея: „Смотрите теперь на эту истину, блеск которой поражает взор и которую я вывел из темницы незнания на свет. Это то, к чему пути до сих пор были недоступны. Это то, что заставляло трудиться стольких ученых, желавших узнать истину и пытавшихся победить трудности, которыми она была окружена. Кардан, Скалигер, Фашиус, Цезальпинус, Либавий искали ее, но не заметили. Все другие могут продолжить их исследования, но все будет тщетно, если они отклонятся от ука-

мулировавший закон сохранения массы, сам был убежден своей аргументацией. „Возьмем такое количество земли, чтобы оно имело минимальный вес, ниже которого нет ничего весомого; пусть известными нам силами природы эта земля перейдет в воду; очевидно вода будет иметь вес, так как всякая вода должна его иметь, и этот вес может быть или больше, чем вес земли, или меньше, или же, наконец, равен ему. Мои оппоненты не будут говорить, что он больше, так как они утверждают обратное, и я сам держусь их мнения; меньше он не может быть, так как вес земли был самый малый, который мог еще существовать; таким образом остается сказать, что вес земли и воды равны между собой, что я и собирался доказать." Этот ученый физик пользовался методом рассуждений, принятым в его время. Мы в данном случае принимаем его заключения, не соглашаясь с доказательствами, и может быть аналогичная картина повторится и с доказательствами наших дней.

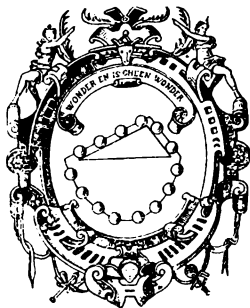


Рис. 16.

Перейдем к другой стадии развития механики и остановимся на крайне остроумных доказательствах свойств наклонной плоскости, данных Стевином в 1605 г. Рис. 16 представляет заглавный лист его книги и иллюстрирует его знаменитую теорему: если две наклон-

занного мною первым ясного и царского пути; все другие — это тернистые и запутанные боковые дорожки, которые не приведут к цели. Труд принадлежит мне; может быть, он будет полезен читателям, одному же богу слава".

ные плоскости имеют общее основание и длина одной из них вдвое больше другой, то тело на короткой плоскости весит столько же, сколько два таких тела на длинной.

Цепь шаров на рисунке, говорит Стевин, не будет двигаться, — раз начавшись, такое движение должно было бы продолжаться вечно, так как условия все время повторяются. Если принять во внимание, что нижняя часть цепи совершенно симметрична и ничего не меняет в равновесии системы, то теорема доказана. Вы скажете, что Стевин предположил невозможность perpetuum mobile и что это только другой путь анализа свойств наклонной плоскости. Да, это верно, но как бы мы узнали о связи между силами на наклонных плоскостях и perpetuum mobile, если бы не было работ людей, подобных Стевину. Такая дедукция неизвестного через не находящееся с ним на первый взгляд в связи непосредственно познаваемое может быть признана истинным научным методом.

Надпись, которую Стевин поместил перед этой диаграммой: „Это чудо и вместе с тем не чудо" — есть та же мысль, но в форме эпиграммы.

Вскоре после выхода в свет этой работы Стевина великое здание современной динамики было заложено Галилеем. Мы, пользуясь ежедневно лифтом, с трудом можем себе представить, что понятие ускорения было когда-то ново и что Галилею пришлось выдумать для этого представления новое слово. Его открытие, что при исключении сопротивления воздуха любые тела различного веса и различных свойств падают с постоянно возрастающей скоростью или, иными словами, с постоянным ускорением, дало начало новой науке. Закон Галилея очень просто иллюстрируется нашей пространственно-временной картиной. Пусть *A* (рис. 17) след

поверхности земли, а B и C два тела над ней. Если мы будем откладывать время по вертикали, то след поверхности земли представится прямой AB', а тел B и C линиями BB' и CC'. По закону Галилея мы утверждаем, что независимо от веса и природы тел B и C, их следы BB' CC' всегда будут оставаться параллельными; кривизна следов дает ускорение падающих тел.

Галилей не связал явлений падения тел с движением планет; не удалось это и Кеплеру, удивительные изыскания которого так двинули вперед наши знания о движении по орбитам и который уже знал о существовании центральных сил. Этот синтез был дан, как известно, Ньютоном, объединившим результаты Галилея и Кеплера в великом законе, который больше двух столетий рассматривался как один из действительно точных законов природы. Ряд ученых после Ньютона сделал еще очень много в смысле обобщения его теории и большей математической стройности представлений, но по существу дела теория оставалась неизменной до недавних замечательных открытий Эйнштейна.

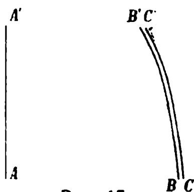


Рис. 17.

Я не буду подробно останавливаться на законах классической механики, которая всем нам так хорошо известна, но я попытаюсь показать, как эти законы могут быть выражены с замечательной простотой в четырехмерной геометрии пространства и времени; в случае движения тел на плоскости (бильярдные шары на столе) четырехмерная геометрия, очевидно, переходит в трехмерную и, наконец, в двухмерную при движении тела вдоль линии (движение бусинки на нити).

На рис. 18 дана пространственно-временная картина движения двух тел, при чем эти тела вступают во взаи-

модействие (в данном случае отталкиваются), если только они достаточно близко находятся одно от другого. Массы частиц могут быть охарактеризованы длиной стрелок на чертеже, и таким образом в нашем случае масса правой частицы в два раза больше массы левой. Первый закон Ньютона, требующий равномерного дви-

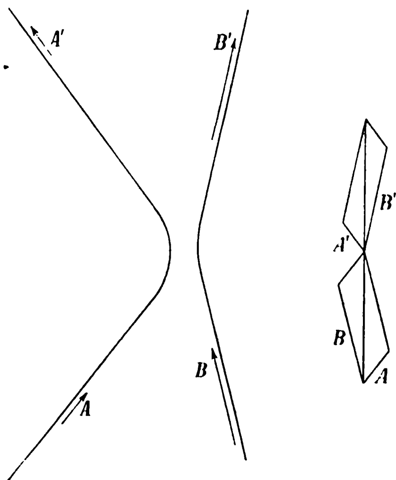


Рис. 18.

жения тела в отсутствии других близких к нему масс, выражается на диаграмме в том, что пространственно-временные следы частиц изображаются везде прямыми, за исключением области, где они близко подходят друг к другу. По мере того как тела сближаются, скорости их движения меняются, следы движения перестают быть прямыми и испытывают искривления. Каким же образом по началу движения мы можем судить о его

дальнейшей судьбе? В стороне от нашей основной диаграммы из одной и той же точки проведены два вектора, один равный и параллельный *A*, другой *B*; на этих векторах построен параллелограм и на его вершине образован еще один со сторонами *A'* и *B'*. Оказывается, что необходимо во всех случаях движения требовать равенства величины и направления диагоналей этих двух параллелограмов.

Данный закон, который впервые был установлен Вильсоном и мной, может быть назван законом сохранения моментов и выражает графически соответствующий закон Ньютона. Формулируя его несколько иначе, мы можем сказать, что нижняя диагональ представляет путь центра тяжести двух тел до встречи, верхняя же дает положение этого центра после того как тела начали удаляться друг от друга. Одно и то же направление диагоналей показывает, что центр тяжести системы движется с постоянной скоростью, равенство же их величин требует неизменности суммы масс частиц во все время движения.

Можно было бы изложить гораздо полнее, с какой простотой описываются механические процессы с точки зрения новой геометрии, и показать, сколь важна роль тех маленьких стрелок, которые проставлены на рис. 18; можно было бы показать с этой точки зрения, насколько призрачными кажутся те векторы, которые мы называем скорость, энергия, масса и момент, но я не решаюсь здесь искушать ваше терпение.

В своем беглом обзоре механики я ни слова не говорил о силах; это было вызвано тем, что понятие силы потеряло свое прежнее значение. Это молчание ни в коем случае не следует объяснять тем, что я боюсь считать силу не вполне физическим понятием, раз оно включает в себя и причину и следствие. Понятие силы

можно определить так, что в него совершенно не будут входить элементы причинности и вместе с тем каждый, кому это нужно, может их здесь найти. Такой человек при взгляде на рис. 18 может считать, что соседство одной массы является причиной искривления следов другой.

Вопрос о возможности рассматривать причинность как научную концепцию нужно считать очень серьезным. В простом детском словаре главным словом, несомненно, нужно считать „почему", но и тогда, когда человек приближается к другой границе своего жизненного пути, он также всегда полон удивления и его волнует тот же вопрос. Это „почему" является стимулом всякого научного исследования, но может ли быть само это понятие причинности объектом науки? Если понятие причины входит как необходимая и существенная часть каждого описываемого в физике явления, она должна рассматриваться как определенная физическая концепция, но если эта идея только мешает чистоте и стройности описания, то, вне сомнения, она должна выходить из пределов нашего обсуждения.

У меня в руках две карточки, на правой и левой сторонах которых нарисованы кривые, показанные на рис. 19; я показываю эти карточки своему другу и прошу его сказать, что это такое и что этот рисунок выражает. Мой друг, человек, придающий значение только фактам, говорит: „Эти кривые вами сейчас нарисованы, и если бы вы этого не сделали, кривых бы не было"; этот ответ является, может быть, наилучшим, который можно получить на мой вопрос. Если я попытаюсь обратиться с этими кривыми к своему другу художнику, то он мне, вероятно, ответит: „Ваши линии нарисованы согласно простейшим правилам рисования; первый случай более элементарен, здесь одна

кривая уравновешивается совершенно симметричной другой; если мы сделаем одну из кривых более массивной, то для того чтобы восстановить эстетическое равновесие, мы должны сдвинуть ее центр и уменьшить кривизну, как это у вас и сделано". Математик, которому я задам этот вопрос, скажет: „На верхней диаграмме справа начерчена гипербола, и если вы получите алгебраическое уравнение, которое определяет положе-

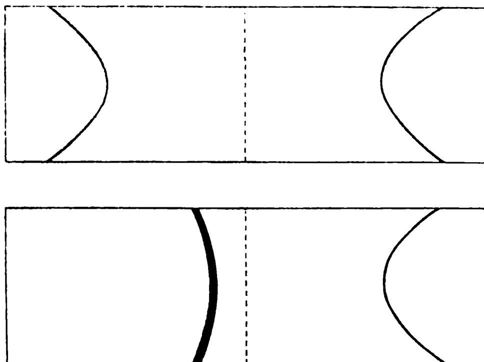


Рис. 19.

ние некоторых ее точек, то тому же уравнению удовлетворяет положение точек кривой, нарисованной у вас слева. Одна ветвь этой гиперболы вызывает, или вы могли бы сказать — причиняет другую ветвь. На нижней же диаграмме вторая кривая не гипербола, а окружность". Наконец, я обращаюсь к физику: „Вы, вероятно, нарисовали пространственно-временную картину движения взаимно-отталкивающихся частиц. В первом случае обе частицы имеют одну и ту же массу и каждая из них производит на другую одно и то же ускорение. Во

втором случае левая масса в четыре раза больше, и поэтому ее ускорение в четыре раза меньше; пунктирная линия в центре, вероятно, дает след движения центра тяжести. Но почему же, — спрашиваю я, — меньшая масса должна иметь большее ускорение?" Он ответит: „Предположите, что в действительности большая масса представляет группу из четырех малых, при чем каждая из последних одинакова с частицей, движущейся справа; если каждая из четырех частиц действует на тело справа так, как бы других трех не существовало, то мы получим результат, который вы и дали в ваших рисунках". Еще ряд вопросов занимает меня, но я должен остановиться.

Наше исследование причинности привело к ряду весьма разнородных утверждений; эта разнородность вынуждает считать причинность понятием, недостаточно удовлетворяющим точности современной науки. Неоднородность причин и эффекта особенно резко, мне кажется, дает себя чувствовать при изучении сложных физических явлений; об этом я буду еще говорить в одной из следующих глав.

После нашего небольшого экскурса в область философии я остановлюсь на некоторой последовательности идей, к которой мы приходим при геометрической трактовке механики. Я буду исходить из проблем тождества и индивидуальности. Когда гусеница выходит из личинки, затем прячется в свой кокон и вновь появляется уже как бабочка, что-то в этом калейдоскопе превращений заставляет нас принять непрерывное существование определенной индивидуальности. Я не беру на себя смелость вполне осветить этот вопрос, но должен указать, что проблемы совершенно такого же характера играют большую роль и в физике. Наша пространственно-временная картина представляет тело

как своего рода бесконечную нить с безграничным распространением во времени, но не в пространстве; все это верно лишь в том случае, если мы будем рассматривать наши протоны и электроны неизменными и сохраняющими свою индивидуальность во времени. Быть может, не совсем правильно утверждение, что электрон занимает некоторую определенную область пространства; электрон несет с собой поле, которое распространяется на бесконечно большие расстояния. Несмотря на все это, бесконечность пространства совсем отлична от бесконечности времени, и мы можем представлять пространственно-временную картину материальной системы в виде бесконечной нити, как это и было сделано выше. Должны ли мы эту несимметрию пространства и времени рассматривать как несовершенство столь, как кажется, совершенной концепции?

Кажется, я слишком далеко ушел от своей цели — показать рост науки о движении. Диаграммы рис. 18 раскрывают все содержание динамики, если не говорить о законе тяготения, который качественно описывается требованием искривления пространственно-временных следов двух тел по направлению друг к другу. Если в нашу диаграмму включить следы многих тел, как в пространственно-временной картине солнечной системы, которая представлена рис. 13 предыдущей главы, то общее „поле“ этих следов определяет кривизну каждого из них. Введем в нашу картину след другого тела, небольшой массы, например, кометы, спутника системы; присутствие такого спутника не меняет заметно уже существующих путей тел. С точки зрения нашей геометрии, закон Галилея (несколько обобщенный) заключается в требовании полного совпадения пространственно-временных следов спутников, имеющих в одной из точек общую каса-

тельную их следов. Эта чрезвычайно простая теорема, дающая лишь качественную сторону закона тяготения, содержит уже значительную часть замечательного учения о тяготении Эйнштейна. Теорема может быть формулирована иначе и более общим путем. Мы можем утверждать, что, если в некотором заданном поле какой-нибудь след проходит через две соседних точки, то любой другой след, проходящий через эти же точки, везде совпадает с первым; говоря математически, следы спутников в поле тяготения однозначно определяются двумя точками. Мы знаем, что линия, которая определяется двумя точками, есть прямая в эвклидовой геометрии, большой круг в астрономии и в общем случае некоторая геодезическая линия. Наиболее существенное положение недавно развитой Эйнштейном гравитационной теории как раз и заключается в утверждении однозначной определенности следа спутника двумя точками в пространственно-временной картине. На первый взгляд это положение кажется нелепым. Как можно винтовую линию в пространственно-временной картине солнечной системы называть прямой? Пытались ли вы, однако, когда-нибудь провести прямую линию на рельефной карте? Вы скажете, что это невозможно. Да. Но ведь всегда можно провести линию, которую можно было бы считать больше всех других похожей на прямую.

Мы знаем, что измерения с помощью метра дозволены эвклидовой геометрией, так как уверены и в том, что измерения с помощью метра и часов законны с точки зрения любой не эвклидовой, но плоской геометрии. Но, быть может, в соседстве с большими тяжелыми телами наши измерения положения и времени должны инструктироваться более сложной геометрией. Теория Эйнштейна говорит о необходимости пользо-

ваться более сложной геометрией, результаты которей тем больше расходятся с результатами обычной плоской геометрии, чем больше массы рассматриваемых тел. В этой новой геометрии винтовые пространственно-временные следы представляются линиями наиболее близкими к прямым. Какой бы странной нам ни казалась на первый взгляд новая геометрия, она дала прекрасное согласие с тремя удивительными решающими опытами (experimentum crucis).

Мореплаватель, уходящий далеко в море от своего дома, вынужден отказаться от плоской геометрии Эвклида, и аналогично этому по теории Эйнштейна явления тяготения могут быть истолкованы в предположении, что наша обычная плоская геометрия не годится для определения пространства и времени вблизи больших масс. Отклонения одной геометрии от другой настолько, однако, малы, что около поверхности земли измерения расстояния по Эвклиду дают расхождение с новой геометрией лишь в миллиардных долях этого расстояния, около же поверхности солнца это расхождение достигает двухмиллионных долей измеряемой величины. Клиффорд первый предложил рассматривать материальные частицы как некоторые горбы пространства, подобные холмам на плоской равнине, и, быть может, это предложение является наиболее удачным, иллюстрирующим современную теорию тяготения. Профессор Сванн весьма любопытным путем показал различие старой и новой точек зрения, — первой, оперирующей с силами и ускорениями тел в поле тяготения, второй — со следами в пространстве новой геометрии. Он говорит: „Пусть рис. 20 представляет план оврага с домом

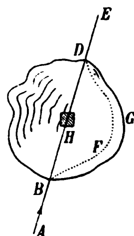


Рис. 20.

в центре; некоторому путешественнику нужно попасть из точки *A* и точку *E* и притом по наиболее короткому пути. Путь *ABHDE*, идущий через дом *H*, не годится, он может оказаться слишком длинным. По этой же причине путешественник не пойдет по *ABGDE*; он выберет путь *ABFDE*, идущий несколько ниже края оврага.

Далее, Сванн предполагает, что некий человек с аэроплана наблюдает за передвижениями путешественника. Летчику овраг кажется плоским, и он удивлен, что путешественник так далеко отклонился от прямой линии. В результате он выдвигает гипотезу, что в долине находится нечто устрашающее путешественника и заставляющее его итти в обход. Более детальные наблюдения требуют более сложных допущений, и в конце концов все трудности отпадают, когда летчик обнаруживает овраг.

В нашем случае мы принимали реальным существование оврага и отрицали наличие объекта, который был бы опасен для путешественника; в проблеме тяготения выбор между простой геометрией вместе со сложным представлением силы и сложной геометрией принципа относительности остается свободным. Механика, оперировавшая с силами по мере накопления экспериментального материала, усложнялась все больше и больше; мы начинаем теперь пользоваться более сложной геометрией, но не будем забывать, что и наши новые представления, может быть, пройдут те же стадии, что и учение о силах. Мы сейчас еще очень далеки от решения допустимости и реальности той или другой точки зрения, но нельзя не отметить, что в данный момент преимущество все же нужно отдать чисто геометрической интерпретации механических процессов. Говоря об этой новой теории, мы находим однако, что гораздо

осторожнее говорить о новой неплоской геометрии, чем о каком-то другом пространстве; правила этой неплоской геометрии гораздо ближе к правилам навигационной геометрии, чем к правилам Эвклида.

Во всех наших рассуждениях о тяготении мы оперировали с незаряженными электрическими телами, а если бы мы выбрали в качестве наших двух тел электроны, то силы электрического отталкивания во много раз превзошли бы силы притяжения. Ничтожные величины сил тяготения, казалось бы, позволяли смотреть на них как на силы, возникающие вследствие недостаточной компенсации электрических сил притяжения и отталкивания. Нужно было бы потребовать весьма незначительного изменения в законах электричества, чтобы вызвать этот эффект, и мы знаем, что в некоторых случаях такие изменения даже должны быть сделаны. Масса отрицательного электрона значительно меньше массы положительного (протона), и так как эти массы обусловлены тем, что мы называем электрическим полем каждого электрона, то поле отрицательного заряда не может уравновесить поле протона. Если бы мы теперь нашли, что между отношением масс протона и электрона и постоянной тяготения существует некоторая постоянная связь, то было бы совершенно строго показано, что силы тяготения являются лишь некоторой результирующей электрических сил. Если, однако, начать проводить такие или аналогичные точки зрения, то легко показать, что они приводят не к разрушению, а скорее к утверждению современной структуры теории тяготения.

Иногда ученому удается нарисовать картину явлений природы такими немногими смелыми и яркими штрихами, и эта картина кажется настолько жизненной и прекрасной, что мы пытаемся воскликнуть: „Не прикасайтесь к этому,

оно прекрасно". Генеральная ньютоновская концепция механических явлений была настолько полна, что многие из его преемников говорили: „В этом вся наука. Дайте движение и массы всех частиц вселенной, и все будущее и прошедшее предстанет нашему взору". Не было, однако, ни одной философской системы, которая была бы так бесплодна, как механистическая философия, давшая жизнь этому утверждению. В наши дни удивления и энтузиазма, вызванных замечательными достижениями Эйнштейна, можно заметить ту же тенденцию. Читая рассуждения о новой мировой геометрии, мы часто склонны думать, что эта геометрия заключает в себе всю науку. Однако она только своеобразный метод в постоянной совместной работе тех, кто усложняет науку новыми смелыми экспериментами, и тех, кто упрощает ее, создавая более общие теории и более полную математику.

V. СВЕТ И КВАНТЫ.

> Джонсон—Босвеллю: „Сэр! Было бы низостью выкинуть что-нибудь из книги только потому, что вы слышали, что этому не поверят“.

Одна из старейших проблем философии — дилемма прерывности или непрерывности включает в себе вопрос о действии на расстоянии, послуживший предметом бесконечных споров. Мне кажется, что еще Карлейль, предполагавший, что материя действует только там, где она находится, вопрошал: „Но где же, чорт возьми, она находится?“ Где находится материя и где она действует, следует ли себе ее представлять прерывной или непрерывной, — вот те вопросы, по поводу которых мнение ученых в последние годы неоднократно менялось и повидимому будет меняться в ближайшем будущем.

Представление о том, что материя состоит из мельчайших неделимых частиц, было в большом ходу как в философии, так и в частном обиходе физики и химии вплоть до того времени, когда Дальтон развил представление о материи как о непрерывной среде. И только уже на нашей памяти атом и молекула превратились из рабочей гипотезы в совершенно реальные объекты. Тем не менее, если даже сейчас нам задают вопрос, прерывно или непрерывно построен мир, — наших знаний еще слишком мало для того, чтобы дать на него исчерпывающий ответ.

В более скромной форме этот вопрос гласит: „Может ли быть описана совокупность объектов, находящихся в нашем распоряжении, с помощью некоторой совокупности представлений, обладающих свойствами континуума? Или же мы должны сопоставить с реальными объектами группу представлений, построенных на принципе прерывности; или, наконец, мы должны принять один метод для оценки одной части экспериментальных фактов и диаметрально противоположный для всех остальных? Какие должны мы применять области математики: оперирующие с непрерывными представлениями, как, например, геометрия, или обнимающие дискретный ряд объектов, как теория целых чисел или рациональных дробей?“

Ответ на этот вопрос, пожалуй, предсказан нашим рассуждением в первой главе. Там мы видели, как впервые изобретенные целые числа, по мере развития научной мысли, обрастали сплошной паутиной других чисел. Этот процесс продолжался до тех пор, пока дискретный ряд целых чисел оказался погруженным в непрерывную среду, в континуум, всех остальных чисел. Дискретный ряд чисел есть дискретный ряд и больше ничего, континуум же заключает в себе все дискретные совокупности, которые только можно себе представить. Континуум понятие по существу более общее, поэтому, вероятно, он всегда остается основой научной мысли.

Гидродинамика оперирует с жидкостью, представляющей собой непрерывную среду, и до сих пор нет ни одного экспериментального факта в области течения жидкостей, который противоречил бы ее законам. Однако мы знаем, что вода не более не менее как собрание молекул, что представление о постоянной плотности физически неприемлемо, и что если бы наше

зрение невероятно усилилось, а наши измерительные инструменты соответственно уточнились, то мы могли бы делать наблюдения, несогласные с теоремами гидродинамики. Однако при этом старая гидродинамика была бы расширена и дополнена таким образом, что было бы принято во внимание молекулярное движение, и, на ряду с новыми теоремами этой новой науки, теоремы старой гидродинамики имели бы большое значение, как описывающие предельный случай бесконечного числа молекул. Однако, прежде чем создать эту новую более общую гидродинамику, необходимо было бы дать ответ на ряд вопросов, относящихся к механизму молекулярного движения в жидкости. Например: является ли удар двух молекул мгновенным, продолжается ли он некоторый конечный промежуток времени, или же, наконец, взаимодействие между молекулами начинается на весьма большом расстоянии и лишь становится более ощутимым при их сближении.

С решением подобных вопросов приходится сталкиваться и в науке об электричестве. То, что мы раньше представляли себе некоторой жидкостью, флюидом, в настоящее время мыслится как совокупность отдельных электронов. Электрическое поле, введенное Максвэллом, было принято и электронной теорией. Таким образом мы представляем себе, что электрон образует непрерывное поле, главная часть которого сконцентрирована в небольшом объеме, но которое на любом конечном расстоянии от центра электрона не равно нулю. Точно также и масса электрона, которая связана с его полем, не сконцентрирована вблизи его центра и может быть целиком заключена лишь в среду бесконечного радиуса.

В силу исторической преемственности идей заряд электрона представляется обычно локализованным в не-

посредственной близости от центра электрона, однако мы, пожалуй, имели бы более цельное представление об электроне, если бы и заряд его представляли распределенным непрерывно — так, чтобы центр электрона не имел никаких отличительных признаков, кроме чисто геометрического. Он был бы центром поля, распространяющегося на бесконечное расстояние. Таким образом каждый электрон существовал бы во всех точках пространства. Боюсь, что если такое представление было бы выдвинуто не физиком, а философом, то оно было бы сочтено за мистицизм чистейшей воды.

С другой стороны, разве представление об электронах в виде дискретных заряженных точек, окруженных бесконечным полем, не являет подозрительного сходства с рядом целых чисел и отдельных точек среди континуума прочих чисел?

Атомы, молекулы и электроны получили уже полное признание к тому времени, когда Планк выдвинул свою теорию квантов, которая была подтверждена целым рядом новых экспериментальных данных вскоре после ее возникновения и которая требует атомистичности в структуре природы в значительно большей степени, чем все существовавшие до нее представления. Эйнштейн, пересмотрев корпускулярную теорию света, открыл чрезвычайно важный закон взаимодействия света с электроном. Бор предположил, что атом переходит из одной конфигурации в другую скачком, и в результате этого предположения привел запутанную науку о спектрах в состояние блестящей и неожиданной ясности.

Все эти представления приводят к геометрии, в которой пространство не измеряется, а считается, [1] и

---

[1] Дедекинд предполагает, что даже совокупность объектов эвклидовой геометрии не включает необходимого континуума.

к кинематике, в которой время перестает быть непрерывным. Для нас это звучит так, как будто из часов вынимают механизм, оставляя только тиканье. Довольно трудно сказать, как далеко пойдем мы в этом направлении.

Мое убеждение таково, что прерывность будет открыта еще в целом ряде самых неожиданных объектов физического мира. Но, тем не менее, в конечном итоге, мы придем к математике и физике непрерывной среды, ибо несомненно, что континуум гораздо более общее и объемлющее представление, чем любая дискретная совокупность.

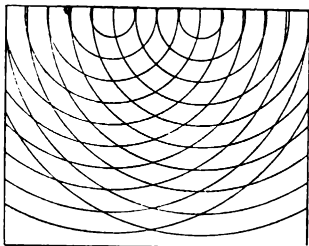


Рис. 21. Графическое представление интерференции.

Одновременно с введением теории квантов в науку пробрался парадокс, который обнаруживается при переходе к теории света. Еще Ньютон имел две точки зрения на природу света: с одной стороны, он представлял себе свет как совокупность летящих пуль, с другой — как распространение ряби по поверхности воды. Победила вторая точка зрения, так как нельзя было себе представить ничего кроме волнового движения, что давало бы объяснение явлению интерференции света.

Если рябь или волны исходят из двух разных точек поверхности жидкости, то они, встречаясь, образуют прекрасный узор, который вам вероятно приходилось наблюдать. В этом узоре волны из двух источников попеременно то усиливают, то ослабляют друг друга. Такой узор может быть представлен и на чертеже

(рис. 21) путем проведения ряда концентрических окружностей вокруг двух различных точек. Таким же образом и луч света, будучи разделен на две части и в дальнейшем опять сходясь, дает совершенно подобную интерференционную картину. На рис. 22 представлен простейший пример такого явления. Свет, испускаемый источником *S* (предположим раскаленной добела нитью), отражается зеркалом *AA'* и падает на экран *CD*. Кроме того свет того же источника, отраженный от зеркала *BB'*, составляющего тупой угол с *AA'*, отбрасывается на тот же участок экрана *CD*. В некоторых точках экрана свет зеркала *BB'* ослабляет свет зеркала *AA'*, в других, наоборот, усиливает. Поэтому на экране получается ряд темных и светлых полос.

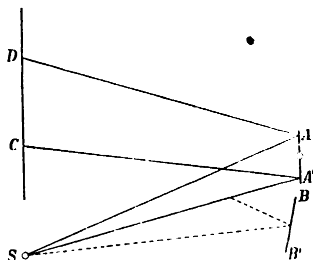


Рис. 22. Зеркала Френеля.

Это лишь один пример из многочисленных проявлений интерференции, которые настолько своеобразны и разнохарактерны, что мы должны хоть немножко посочувствовать тому студенту, который написал на своем экзамене: „Я нахожу, что явление интерференции еще очень мало понятно“. Из всех этих явлений волновая теория света вытекает с полной очевидностью. Она сводит их к необычайно простым принципам и дает возможность предсказывать их с величайшей точностью. Все это приводит к тому, что нет ни одного научного представления, от которого нам было бы труднее отказаться, чем от представления о свете, связанном с распространением некоторых волн или периодиче-

ских возмущений, сферически симметричных относительно источника света.

Старые теории, представлявшие себе эти волны в виде механических колебаний в упругом эфире, были безоговорочно вытеснены представлением Максвэлла о свете, как о периодических электромагнитных возмущениях. Наиболее замечательно, что при этой великой революции физической мысли не пришлось отбросить ни одного уравнения или математического следствия старой оптики. Весь математический аппарат старой физики мог быть целиком перенесен в новую оптику. Не является ли это обстоятельство указанием на то, что в физике произойдет новая революция, которая выдвинет новую теорию, к которой точно также можно будет применить целиком математический аппарат старой оптики? Казалось бы, что всякая новая теория света должна иметь своей основой представление о каком-то периодическом процессе, распространяющемся во все стороны из излучающего источника.

Перейдем теперь к рассмотрению корпускулярной теории света. Я не буду останавливаться на чрезвычайно красивых опытах, подтверждающих представление Эйнштейна о том, что энергия излучения состоит из квантов, т. е. из дискретных частиц. Экспериментальные данные дают вполне достаточное основание для того, чтобы рассматривать свет с двух совершенно различных точек зрения. Эти два представления в корне противоречат друг другу, но так как они являются совершенно строгим следствием ряда экспериментальных фактов, объяснение этого парадокса приходится искать в том, что мы слишком упорно придерживаемся какой-либо отжившей доктрины. Наша задача—найти какую-либо новую синтетическую точку зрения, в которой были бы объединены два приводимых ниже представления:

1. Атом, обладающий некоторым запасом энергии, превышающим определенную минимальную величину, может внезапно потерять свою избыточную энергию, которая движется далее таким образом, как будто она представляет собой отдельную частицу, т. е. движется по определенному пути со скоростью света. Путь этой частицы прямая линия, за исключением тех случаев, когда частица пролетает в непосредственной близости от материального объекта; в этих случаях она отклоняется от своего прямолинейного пути. При этом и частица, и отклоняющее тело подчиняются законам механики.

2. Отдельный квант (частица испущенного света) подчиняется законам интерференции; другими словами, интереференция происходит не от взаимодействия группы таких частиц. Таким образом, если какой-либо источник дает интерференционную картину на фотографической пластинке, то при замене упомянутого источника света некоторым иным, значительно более слабым, испускающим по одному кванту через значительные промежутки времени, получится (через соответственно бóльшие промежутки времени) та же интерференционная картина. Кванты будут попадать только в светлые точки картины, полученной с более мощным источником. Если бы свет был не чем иным, как совокупностью дискретных корпускул энергии, то на установке, указанной на рис. 22, каждая корпускула отражалась бы от одного из зеркал, независимо от присутствия другого зеркала, — следовательно, явление интерференции не имело бы места. Поэтому представляется необходимым вернуться к первоначальным взглядам Ньютона, который мыслил себе свет как совокупность частиц и одновременно как распространение волн. Принимая, что энергия испускается в виде частиц, мы

должны принять еще нечто, в действительности подчиняющееся законам интерференции, и это „нечто" должно определять направление движения частицы энергии — кванта. Для простоты назовем это „нечто" интерференционным полем. Быть может, нам придется допустить, что это интерференционное поле существует и тогда, когда нет действительного испускания энергии.

Эта точка зрения была выдвинута Слэтером[1] и Сванном.[2] Идея того, что явление света сочетает два представления: во-первых, интерференционное поле, во-вторых, квантовый перенос энергии, — не только очень ценна, но, по-моему, совершенно необходима. Однако представление упомянутых авторов о том, как интерференционное поле направляет кванты света, настолько сложно, что у нас создается впечатление, что парадокс теории квантов разрешен только частично.

Конец этой главы я посвящу изложению моих собственных попыток объяснения упомянутого парадокса, при чем я должен заранее просить извинения в том, что предлагаемый мною материал был опубликован лишь очень недавно[3] и не успел подвергнуться научной критике.

Поэтому то, что я осмеливаюсь предложить вашему вниманию, может оказаться ошибочным. Ведь часто астроном из любителей открывает блестящую новую звезду, которая на поверку оказывается не чем иным, как свечой в окне его соседа.

Тем не менее попытки объяснения, которые я предлагаю, относятся главным образом к нашему представлению о времени. Это представление будет исходной

[1] Slater. Nature. **113**, 307 (1924).

[2] Swann. Science. **61**, 425 (1925).

[3] Недавно опубликованные статьи: 1) в Proceedings of the National Academy of Sciences **12**, 22 (1926); 2) Nature. **117**, 236 (1926).

точкой моих дальнейших рассуждений, и я полагаю, что оно еще расширит ваше и без того весьма широкое представление о том, что мы называем временем. По моему мнению, такое обобщение окажется полезным и в том случае, если впоследствии будет доказано, что мои рассуждения ошибочны.

Мои рассуждения покажутся вам в корне противоречащими здравому смыслу, поэтому я в первую очередь хочу показать вам, как сильно наше представление о времени изменилось в течение последних лет. Для этого я предлагаю вашему вниманию в качестве очень наглядного примера одно из следствий специальной теории относительности, о котором я нарочно не упоминал в третьей главе. Это представление кажется смешным непосвященному, однако оно в настоящее время безоговорочно принято правоверными физиками.

Мы можем представить себе, что через несколько лет группа выдающихся изобретателей, мечтающих о завоевании новых миров, построит летательный аппарат типа ракеты, приводимый в движение извержением частиц, летящих с большой скоростью. Управление такой машиной сводится к изменению направления струи вылетающих частиц.

К тому времени, когда постройка машины будет близиться к концу, изобретатель будет уверен, что он сможет совершить на ней экскурсию на луну или на одну из ближайших планет. Между тем, во время постройки машины кто-то изобретает новое „топливо“, т. е. вещество, испускающее частицы несравненно большей скорости, чем все известные до сих пор взрывчатые вещества.

Смелый строитель машины соображает, что со значительным запасом такого топлива (превышающим, правда, вес его машины) он сможет оставить далеко за собой пределы солнечной системы.

Наконец, он пускается в путь и, использовав большую часть своего топлива на первую грандиозную вспышку,—достигает скорости в полпроцента скорости света. Не стану даже и пытаться описать его ощущения за этот промежуток времени. Однако, после того как он приходит в себя и останавливает ход машины, он обнаруживает чрезвычайно неожиданные изменения в виде звездного неба. Из кормового окна его корабля не видно ничего, даже солнца, которое выглядело как темнокрасный диск вскоре после пуска в ход летательного аппарата. Через передние окна видны все звезды, но они светят ярко-синим цветом. Через боковые окна созвездия выглядят приблизительно так же, как и из земных обсерваторий, но звезды горят ярким немерцающим светом, и наш исследователь с увлечением начинает заниматься необычайно ценными астрономическими наблюдениями, которые оказываются настолько увлекательными, что он, всецело поглощенный ими, проводит пять лет в беспрерывном полете в кабине своей ракеты. Внезапно он огорошен неожиданным результатом своих наблюдений: оказывается, что за эти пять лет он достиг точки вселенной, которая отстоит от земли на расстоянии пятидесяти световых лет, между тем его хронометры самых разнообразных систем идут в полнейшем согласии; каждый день он принимал пищу три раза и спал ровно по восемь часов в сутки. Он совершенно уверен, что ошибки быть не могло. Тем не менее, он решает вернуться на землю и, использовав большую часть оставшегося горючего, он меняет направление аппарата и возвращается домой с той самой скоростью, с которой он удалялся от земли. В конце следующих пяти лет он достигает земли и, использовав остаток горючего, чтобы замедлить свое бешеное движение, он попадает в пределы земной

атмосферы и спускается на парашюте, невдалеке от своего дома. Ровно десять лет тому назад (согласно его хронометров) все газеты были полны описаниями его дерзновенного старта и различных предсказаний и мнений о результатах его экскурсии. Он ожидает, что сейчас его возвращение будет невероятной сенсацией. Однако он не верит своим глазам — все изменилось, люди едва понимают то, что он говорит, и только после целого ряда недоуменных вопросов он в состоянии понять, что он второй Рип-ван-Уинкль, что со дня его отправки до дня его возвращения прошло не десять лет, а целых сто.

Вы скажете, что это—сплошная выдумка. Конечно, сомнительна возможность существования такой машины, какую я описал; однако, допуская существование такого аппарата, ни один человек, знакомый с элементарной теорией относительности, не будет сомневаться в том, что в течение „десятилетнего“ путешествия нашего исследователя — на земле протекло сто лет. Я просто облек в более наглядную форму заключение, которое мы сделали в третьей главе о том, что не существует абсолютной меры для измерения хода времени. Я сделал это отступление для того, чтобы те, кто примирились с таким огромным сдвигом традиционного представления о времени, могли легче принять некоторое дальнейшее развитие этого представления, которое я предлагаю вниманию читателя.

Мы видели выше, что кинематика слилась с некоей геометрией, в которой нет существенной разницы между верхом и низом, между прошедшим и будущим. Мы видели также, что и вся великая наука — механика — находится в аналогичном состоянии. В самом деле, если мы рассмотрим простейшие физические явления (оставляя пока в стороне так называемые „необрати-

мые“ процессы, которыми мы займемся в следующей главе), то увидим, что только в некоторых фазах процесса, связанного с излучением, наблюдается асимметрия между прошлым и будущим. Например, кажется затруднительным представить процесс поглощения света как обращенный процесс испускания. Согласно старой теории света мы мыслим испускание как расхождение ряда концентрических волн из светящегося тела, но мы не можем согласиться с тем, что поглощение света связано со схождением ряда концентрических волн на поглощающее тело. Если мы сможем выдвинуть теорию, в которой испускание и поглощение окажутся совершенно симметричны, то это будет связано с чрезвычайным упрощением нашего представления о физическом времени.

Остановимся еще раз на простой установке рис. 22. Пусть *C* представляет собой середину темной полосы интерференционной картины. Если мы прикроем оба зеркала, а затем приоткроем на мгновение зеркало *AA'*, световая частица сможет проскочить из *S* в *A'* и из *A'* в *C*, но если мы приоткроем на мгновение одновременно оба зеркала, то ни одна из частичек не сможет пролететь по этому пути. Когда мы останавливаемся перед этим странным явлением, у нас всегда возникает весьма мало вероятное предположение: не может ли атом излучающего тела предчувствовать, что одно или оба зеркала окажутся открытыми и соответственно этому или испускать в соответствующем направлении или воздерживаться от испускания. Как ни абсурдно на первый взгляд такое предположение, оно представляет основную мысль предлагаемой мной теории.

Обычно предполагают, что светящееся тело испускает энергию совершенно независимо от наличия вблизи или вдали от него предметов, могущих немедленно

поглотить ее. Другими словами, предполагается, что источник света излучает в „пространство“. Я предполагаю обратное, именно, что атом никогда не испускает иначе как „для другого атома“, и в этом процессе обмена два атома играют совершенно одинаковые роли, так что уже нельзя один из них рассматривать как активный центр, а другой как случайный, пассивно воспринимающий.

Я не хочу скрывать противоречия между этим взглядом и общепринятой точкой зрения. Свет далекой звезды поглощается молекулой хлорофилла, которая незадолго до этого образовалась в клетке живого растения. Мы говорим, что тот элемент излучения, который в данный момент поглощает клетка, начал свой путь от испускающей звезды — тысячу лет назад. Какая же связь может быть в данном случае между испускающим источником света и недавно образовавшейся молекулой хлорофилла? Представим себе теперь эту звезду на месте источника света (рис. 22). Открывая оба зеркала, мы препятствуем частице света достигнуть точки *C*. Препятствуем ли мы при этом испусканию света в данном направлении? Если бы это имело место в действительности, то это означало бы возможность (правда, довольно тривиальным способом) влиять на исход совершившихся событий.

Разумеется, эта идея крайне оскорбительна для наших установившихся взглядов на причинность и последовательность во времени. Однако мы должны помнить, что упомянутые понятия (причинность и т. д.) возникли на основании наблюдения процессов, которые чрезвычайно сильно отличаются от тех элементарных обратимых процессов, которые мы рассматриваем. Следовательно, до тех пор, пока какие-либо экспериментальные результаты не окажутся в противоречии с нашей

новой точкой зрения, нечего смущаться ее конфликтом с общепринятыми представлениями, тем более, что с ее помощью устраняются некоторые разногласия между представлениями современной физики и геометрией, которая так блестяще интерпретирует кинематику принципа относительности.

Мы принимаем, что радиоактивное вещество испускает частицы по всевозможным направлениям, независимо от их последующего поглощения материей. Почему же мы делаем другое предположение относительно частиц света? Ответ дается новой геометрией, которую я восстановлю в вашей памяти с помощью рисунка 23. Вспомним, что существует значительная разница между пространственными линиями OX и OX' и временными линиями OT и OT'. Между этими двумя классами линий существуют особые линии OL и OL', которые не могут быть отнесены ни к временным, ни к пространственным, так как они не имеют достаточно общего ни с тем, ни с другим классом. След материальной частицы в пространственно-временной картине всегда представляется линией времени (например OT'), а наклон такой линии по отношению к избранной линии времени OT, представляет собой скорость данной частицы. С другой стороны, наклон пространственной линии (напр. OX) ни в какой мере не может служить мерой скорости частицы материи или энергии. Мы отожествляем линию OL с линиями времени и считаем, что она предста-

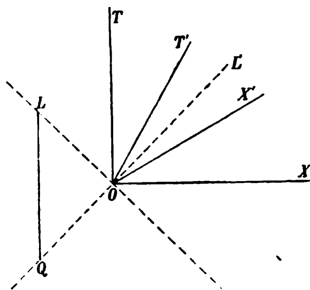


Рис. 23.

вляет скорость света. Эта уступка традиционным представлениям, конечно, грешит против геометрии. Подобные уступки мы можем делать только в том случае, если в результате их мы составляем полное и единое представление о процессе излучения.

Позволю себе напомнить еще одну черту геометрии принципа относительности. Длина любых отрезков линий *OL* и *OQ* считается равной нулю.

Большую пользу из этого представления извлекли математики, но отнюдь не физики — сторонники теории относительности. Предложение, которое я вношу, заключается в попытке утверждать, что такой отрезок имеет нулевую длину в чисто физическом слысле слова. Так что можно сказать, что два атома, проекции которых лежат на отрезках *OT* и *QL*, находятся в виртуальном соприкосновении с такими точками, как *O* и *L* или *O* и *Q*, которые лежат на особых линиях. Иными словами, если признать, что точка *O* представляет собой факт испускания частицы света атома, а *L* — поглощение этой частицы другим атомом, то эти два события могут быть в нашем обычном представлении разделены промежутком времени в тысячу лет. Однако этот промежуток зависит только от произвольного выбора оси времени.

Если мы на нашем рисунке примем за ось времени не *OT*, а другие оси, лежащие все ближе и ближе к *OL*, то при этом будет стремиться к нулю не только временное, но и пространственное расстояние между *O* и *L*, соответственно принципам Эйнштейна.

Я говорил о „виртуальном соприкосновении", отличном от обычного, но я не хотел этим подчеркивать, что виртуальное соприкосновение представляет собою сколько-нибудь менее физическое соприкосновение, нежели всякое другое. Я утверждаю, что мои глаза

столь же реально касаются звезды, как мои пальцы моего письменного стола. Когда два атома при соударении находятся в соприкосновении, мы не интересуемся тем, каким образом один из них узнает о том, что другой в состоянии принять его кинетическую энергию; точно также мы не должны задаваться этим вопросом и в случае виртуального соприкосновения. Для нас было бы достаточно установить или описать условия взаимного расположения атомов или других центров испускания или поглощения, определяющие возможность обмена энергией. Однако это уже технический вопрос из области теоретической механики, и я не могу здесь вдаваться в обсуждение тех методов, с помощью которых новое представление может быть использовано для решения некоторых задач оптики. К сожалению, я также не могу остановиться более подробно на обсуждении представления о волновом поле, которое в новом аспекте представляется своеобразной тенью, падающей на пространство от периодических процессов поглощения и испускания энергии, происходящих внутри самих атомов.

Я только хочу в заключение высказать идею эксперимента, который сможет подтвердить справедливость новой теории и, несмотря на чрезвычайные трудности его постановки, является весьма желательным. Представим себе, что в приборе, изображенном на рис. 22, точка *C* представляет собой середину темной интерференционной полосы, а *D* — середину следующей, светлой. Согласно всем прежним теориям свет, падающий на зеркало *AA'*, оказывает на него равномерное давление, в то время как по новой теории ни одна световая частица не падает на конец *A*, тогда как множество попадает на конец *A'*. Поэтому зеркальце, будучи подвешено на легчайшем подвесе, будет стре-

миться повернуться вокруг оси, проходящей через его центр.

Если бы такой поворот удалось наблюдать, то этот опыт послужил бы блестящим подтверждением для теории, которая не только находится в полном согласии с геометрией принципа относительности, но, кроме того, выбивает последнюю опору из-под всех физических представлений, основанных на понятии временной причинности.

VI. ВЕРОЯТНОСТЬ И ЭНТРОПИЯ.

В этой главе я буду говорить о приложениях одного отдела математики, который, будучи основан на арифметике, занимает независимое положение и имеет величайшее значение. Этот предмет надо было бы преподавать в средних школах, однако человек со средним образованием ничего не знает о нем, разве только то, что он выводится из жизненной практики, не пользующейся особым доверием в обществе. Я имею в виду теорию вероятности, элементарные принципы которой находят применение в повседневной жизни.

Вы можете сказать: „Я не люблю пари“, однако разве вы не заключаете пари со страховой компанией, в том, что ваш автомобиль будет украден в текущем году, когда вы его страхуете от кражи сроком на год? Разве вы не прибегаете к учету вероятности, когда вы дублируете игру вашего партнера в бридже? Каждое решение в жизни является ставкой на случай, которая нередко ведет к самым неожиданным последствиям, но именно среди таких последствий элементы теории вероятности могут иметь блестящее применение.

Иногда даже логика не может безоговорочно оценить какое-либо положение как истинное или ложное, но может признать его лишь обладающим некоторой вполне определенной степенью вероятности, и результатом обобщенного силлогизма бывает некоторая дробь,

представляющая, в свою очередь, некую вероятность. [1] Предположим, что какое-либо положение имеет лишь один шанс из миллиона при проверке оказаться ложным. [2] Предположим теперь, что мы имеем миллион таких положений; какова вероятность того, что они при одновременной проверке окажутся справедливыми? Эта вероятность меньше, нежели один единственный шанс.

Химик, которому требуется узнать плотность ртути при температуре ее кипения, найдет в литературе результаты полудюжины измерений. В некоторых случаях он удовлетворится тем, что возьмет арифметическое среднее, но обычно он интересуется методами, которые были применены экспериментаторами, и оценивает благонадежность каждого из экспериментаторов. Таким образом он придает различную ценность различным определениям, исходя из степени их достоверности. Он приписывает им различный вес, но пользуется не математикой, а здравым смыслом. И только закончив эту предварительную выборку, он переходит к чисто математическим методам и вычисляет наиболее вероятную величину плотности ртути и пределы возможных ошибок.

Теория вероятностей имеет дело с объектами, которые не производятся ею самой, а берутся извне. Чистая геометрия не может ничего сказать о размерах

---

[1] См. Charles S. Pierce. Popular Science Monthly. 1878.

[2] Это чрезвычайно большая степень вероятности: мы вполне уверены, что завтра утром взойдет солнце, однако со времени изобретения письменности, т. е. в течение эпохи писанной истории солнце всходило и заходило менее миллиона раз. Конечно, в силу наших познаний в астрономии мы имеем иные основания предполагать, что на утро взойдет солнце, кроме того что оно всегда всходило по утрам.

комнаты, в которой вы находитесь, но дает возможность по данной ее ширине и длине вычислить длину диагонали. Степень вероятности того, что при трех независимых подбрасываниях монеты будет каждый раз выходить „орел“, может быть вычислена и оказаться равной одной восьмой только в том случае, если дано, что вероятность одного выбрасывания „решетки“ такова же, как и „орла“. Однако как и геометрия, которая не может измерить длину, так и теория вероятности не может проверить, действительно ли вероятность „орла“ при одном подбрасывании такова же, как и вероятность „решетки“. Конечно, a priori можно сказать, что эта вероятность именно не одинакова. Не говоря уже о механизме подбрасывания, обе стороны монеты механически не идентичны. Конечно, невозможно сделать монету с такой точностью, чтобы одна из ее сторон не оказалась на ничтожнейшую крупицу „перегруженной“.

Несмотря на то, что мы никак не можем провести идеальную прямую, понятие прямой линии чрезвычайно важно для геометрии. Точно также мы не можем создать таких условий, чтобы вероятности каких-либо событий были совершенно одинаковы. Даже если мы представим себе „идеальную монету“, обе стороны которой абсолютно тождественны в механическом отношении, мы должны еще для того, чтобы осуществить равенство шансов, создать идеальный подбрасывающий механизм. При конструкци такого механизма мы не можем ограничиться требованием абсолютной точности в изготовлении деталей. Ведь если мы создадим идеальный с этой точки зрения механизм, то монета, раз заложенная в него „орлом“ вверх и упавшая в таком же положении, будет ложиться „орлом“ вверх при каждом из последующих подбрасываний. Этот результат диа-

метрально противоположен тому, что мы хотим получить. Мы должны при построении машины ввести элемент, чуждый механике и по смыслу враждебный ее принципам, а именно: элемент случайности.

Однако одинаковость шансов и случайное распределение оказываются связанными с геометрическими понятиями прямой линии и плоскости. Мы можем заметить это соотношение путем определения понятия прямой линии следующим необычным способом. Представим себе комнату, содержащую некоторое количество предметов, двигающихся совершенно хаотично. Если, теперь, между двумя неподвижными точками этой комнаты мы проведем воображаемую линию, то время от времени эту линию будет пересекать какой-нибудь из движущихся предметов, и мы сможем сосчитать число таких пересечений в течение достаточно долгого промежутка времени. Та из линий, проведенных между двумя точками комнаты, для которой насчитано наименьшее количество пересечений, является прямой. В том случае, однако, когда движение предметов внутри комнаты не вполне беспорядочно, например, более интенсивно в нижней части комнаты, линия, пересекаемая наименьшим количеством предметов, будет, вообще говоря, кривой. Прямая линия и равные шансы введены в науку и приносят свою пользу, хотя их и невозможно осуществить на практике, и надо сказать, что до сих пор нет „достаточных оснований" для введения каких-либо более сложных представлений.

Я не могу здесь заняться изложением теории вероятностей и ее многочисленных ценных приложений, но вынужден ограничиться лишь кратким описанием ее приложения в одной области науки, которая стоит несколько особняком и, тем не менее, представляет большой философский интерес. Такие науки, как гео-

метрия, статика, динамика, электро- и магнитостатика — предполагают наше знакомство со всеми деталями той системы, которая составляет предмет изучения. Термодинамика, наоборот, не интересуется деталями. Например, нам дан ящик с двумя выходящими из него проводниками. Содержимое его нам неизвестно. Нам говорят, что в данный момент между этими проводниками существует определенная разность потенциалов. Кроме того, нам известно, какое количество тепла выделяется в ящике, когда мы берем от упомянутых проводников определенной величины ток. Этих данных достаточно для того, чтобы, зная термодинамику, сразу вычислить зависимость разности потенциалов между проводниками при изменении температуры ящика. Человек, который знаком только с „науками деталей", о которых я говорил выше, и внезапно сознавший, какую огромную поддержку оказывает наука, не знающая деталей, подобен пловцу, который долго изучает различные движения, дающие возможность проплыть не утопая десять или сто ярдов и который только гораздо позже осознает, что он может плыть, не делая никаких движений, так как вода сама его поддерживает.

Могущество термодинамики совершенно не зависит от состояния механики. Ведь механика — это наука, аппарат которой достаточен далеко не для всякой задачи. Изучение теплоемкости веществ показало, что надлежит сделать какие-то коренные изменения в наших механических представлениях, но мы до сих пор не знаем, каковы именно эти изменения. Даже в том случае, если бы теоретическая механика достигла такого совершенства, что не нуждалась бы в усовершенствованиях в течение целого столетия, даже если бы мы могли решать задачу не только о двух или трех, но даже о ста телах, что стали бы мы делать с задачей о мил-

лионе тел? Описание одних начальных условий такой задачи заняло бы всю нашу жизнь. Механические методы недостаточно глубоки для решения подобных задач. Мы отлично можем измерить с помощью рулетки размеры нашего садика, но мы не станем пытаться применить этот инструмент для измерения междузвездных расстояний.

Поле действия термодинамики — это в высшей степени запутанные явления. Эта наука построена на двух основных положениях, из которых первое гласит о сохранении энергии. Не лишено интереса проследить историю понятия „энергия". Хотелось бы рассказать о том, как курьезно и даже несколько по-жонглерски были введены представления: потенциал и скрытая энергия; как однажды была сделана попытка понятие „энергия" поставить во главе всей физики, отодвинув „материю" на задний план; о том, как принцип относительности, который уяснил столь много темных понятий, показав, например, что количество энергии и масса являются просто разными аспектами одной и той же величины (примерно как миля и километр, оба — меры длины); наконец, о том, что сама энергия представляется согласно новейшим воззрениям лишь как некоторое сечение некоей более общей величины, имеющей характер тензора.

Однако я перейду прямо ко второму закону термодинамики и к тем необратимым процессам, которые известны под названием процессов обесценения или рассеяния энергии. Тело падает на пол, оно может подскочить раз или два и все-таки остановится в покое. Температура двух тел, теплого и холодного, при их соприкосновении выравнивается. Различные газы так перемешиваются диффузией, что разделить их довольно-таки трудно. Во всех этих процессах чувствуется какое-

то падение, вырождение, и мере этого вырождения Клаузиус дал имя „энтропия", высказав следующее общее правило: „Энтропия всего мира стремится к максимуму". Каждый из этих деградирующих процессов называется необратимым не потому, что невозможно воссоздать его начальные условия. Начальные условия могут быть воссозданы, но это непременно происходит за счет чего-то, что все-таки переходит в состояние более низкого уровня энергии. Говоря техническим языком, энтропия какой-либо системы может и уменьшиться, но лишь за счет увеличения энтропии какой-либо другой системы, по меньшей мере на такую же величину.

Таким образом, предполагается, что все процессы стремятся в конечном итоге к состоянию всеобщего равновесия, при наступлении которого прекратятся все процессы. Несмотря на то, что никто не утверждал, что эта неизменная нирвана будет достигнута в течение конечного промежутка времени, картина мира, приближающегося к своей старости и неминуемой смерти, показалась некоторым слишком мрачной. Поэтому я очень рад высказать убеждение, к которому я в последнее время пришел, о том, что гипотеза о непрерывной деградации не необходима.

Астрономы не наблюдают упадка в космическом масштабе. Некоторые звезды, правда, тускнеют, но другие загораются ярче. Солнце все время непрерывно изливает на землю мощный поток энергии, повидимому, ниоткуда не компенсируемый. Источник этой энергии остается для нас до сих пор еще достаточно загадочным; но, повидимому, он не собирается иссякнуть. Многие геологи в настоящее время полагают, что за тот период, история которого записана на земной коре (достигающий, быть может, тысячи миллионов лет) и в течение которого происходили грандиозные изменения

климата, ничто не указывает на заметное изменение средней температуры земной поверхности.

Впрочем, наличие непрерывного потока энергии, испускаемого солнцем без каких-либо видимых источников, относится скорее к закону сохранения энергии, нежели к закону ее рассеяния. Если в дальнейшем мы хотим опираться на научно достоверный материал, мы должны говорить не о вселенной, о которой мы знаем так мало, а о какой-либо изолированной системе, которую мы можем в действительности изучить. Закон Клаузиуса поэтому должен быть выражен следующим образом: „Всякая замкнутая система, предоставленная самой себе, претерпевает изменения в некотором определенном направлении, конечным результатом которых является состояние равновесия,— иными словами, энтропия системы непрерывно возрастает и достигает максимума". Это то положение, которое нами кладется в основу дальнейших рассуждений.

Однако, прежде чем перейти к дальнейшим рассуждениям, я хочу подчеркнуть большое значение „направленных" процессов, которые мы должны связать с нашими понятиями о времени. В чистой геометрии пространственно-временного мира нет асимметрии между движением вверх и вниз в пространстве и между движением вперед и назад во времени. Точно также в законах механики, к которым так блестяще подходит пространственно-временная геометрия, мы не нашли такой асимметрии. Даже наше новое представление об излучении не заставляет нас приписать определенное направление течению времени. С другой стороны, все явления повседневной жизни приводят нас к диаметрально противоположному заключению. Как я уже говорил ранее, ничто не производит на нас более нелепого впечатления, как кинофильм, пущенный в обрат-

ную сторону, а это как раз иллюстрирует величайшую асимметрию прошлого и будущего в действительной жизни, которая полна отдельными событиями. При кропотливом разборе их сложной структуры мы сталкиваемся с элементарными процессами, заканчивающимися мгновенными обрывами.

Горит лес, взрывается граната, и от всех ее кропотливо изготовленных химических препаратов, от всех изящно и точно выполненных механических деталей остаются бесформенные осколки; умирает человек и при этом резко обрывается процесс его развития, который не только длится всю его жизнь, но неузнаваемо меняет его в течение немногих лет.

Эти явления настолько непохожи на те простые обратимые процессы, которые мы рассматривали выше, что мы вынуждены предположить, что представление о времени, имеющем определенное направление, целиком обязано существованию необратимых процессов. Эта мысль, я полагаю, была впервые высказана профессором Франклином.[1] Она принадлежит к числу таких, которые сразу же позволяют проникнуть в смысл понятия „время". Она заставляет нас расщепить понятие о времени на два совершенно различных представления, как это сделал Бергсон[2] в своих красочных очерках. Одна часть, которую мы будем называть временем одного направления, это та необратимая последовательность, которую мы находим в своем сознании и памяти, т. е. в мире кажущихся необратимыми процессов. Другая часть, которую мы будем называть временем обоих направлений, — это та, для которой прошлое

---

[1] W. S. Franklin. Entropy and Time. „Physical Rewiew", 30, 776 (1910).

[2] Бергсон. Время и свобода воли. Творческая эволюция. (Имеются русские переводы.)

и будущее симметричны. Эта часть не более чем одно из измерений пространственно-временного мира кинематики.

Это различие на первый взгляд кажется странным: в одной области физики — механике — мы применяем одно из наших представлений о времени, в другой отрасли — термодинамике — другое. Я постараюсь разрешить это недоразумение, показав, что во всех отраслях физики применимо лишь одно из представлений времени,—именно симметричное время двух направлений. Но прежде чем заниматься этим вопросом, продолжим несколько обсуждение второго принципа термодинамики.

Верите ли вы в чудеса? Представим себе коробку, на дне которой лежит гирька в один грамм. Пусть она помещена в ванну с тщательно поддерживаемой постоянной температурой, предположим в 65° по Фаренгейту, и пусть все это устройство ограждено самым совершенным механизмом от внешних сотрясений. Другими словами, оградим нашу гирьку от всех возможных внешних воздействий, оставив в окружающем ее панцыре лишь маленькое отверстие, через которое мы сможем наблюдать грузик. Мы можем миллион раз глядеть в это окошечко и каждый раз убеждаться в том, что гирька лежит на дне. Таким образом мы привыкаем к тому, что такое положение груза есть закон природы. Между тем может случиться, что мы, заглянув в окошечко, увидим гирьку на некоторой высоте от дна коробки. Это будет случаться не часто, но мы можем подсчитать с величайшей степенью точности вероятность того, что мы увидим грузик на высоте, скажем, десяти или более сантиметров от дна коробки.

Эта вероятность настолько мала, что я затрудняюсь ее выразить обычным путем. Обычно вероятности выражаются дробями, а в этом случае для того, чтобы

написать вероятность в виде десятичной дроби, пришлось бы до конца своих дней корпеть над писанием нулей. Тем не менее, самое вычисление этой вероятности может быть выполнено совершенно точно.

Вероятность возрастает при переходе к меньшим весам и меньшим высотам поднятия. Пусть вес гирьки, так же как и высота подъема, уменьшен в сто миллионов раз. В этом случае подсчет показывает, что если мы будем смотреть на гирьку через каждую секунду, то мы увидим наш груз поднятым на указанную высоту 6,32 раза в течение миллиона лет. Если вы поставите пять против одного за то, что это явление произойдет в течение миллиона лет хотя бы раз, то вы сможете сперва проиграть, но спустя несколько миллионов лет— останетесь в выигрыше. С дальнейшим уменьшением веса вероятность очень быстро растет, и когда мы перейдем к частицам, которые можно различить только с помощью лучших микроскопов, мы убедимся в том, что они все время прыгают, принимая участие в так называемом броуновом движении, которое представляет собой не что иное, как хаотическое тепловое движение, в котором участвуют как отдельные молекулы, так и целые группы молекул, связанных между собой. Интенсивность этого движения растет с температурой. Изучая это движение, Перрен сделал ряд черезвычайно важных заключений, пользуясь той самой формулой, которой только-что пользовался я, вычисляя вероятность нашего маленького чуда.

Ведь в самом деле, подпрыгивание гирьки в один грамм было чудом, тогда как в броуновом движении тысячи таких чудес проходят перед нашими глазами. Не следует думать, что физические системы, предоставленные самим себе, приближаются к некоторому спокойному состоянию. Они приближаются к состоянию,

которое представляется нам состоянием покоя только в силу недостаточной остроты нашего восприятия.

Впервые Максвэлл для большей наглядности при рассмотрении необратимых процессов в газах ввел наивное представление о маленьком демоне, который может видеть и различать друг от друга отдельные молекулы. Представим себе, в качестве одного из видов необратимых процессов, процесс смешения двух газов. Некоторый объем, разделенный пополам перегородкой, содержит в одной половине кислород, а в другой азот. Если в перегородке открыть небольшое отверстие, то газы начнут перемешиваться диффузией, и этот процесс рано или поздно приведет к тому, что в обоих отделениях прибора будет совершенно однородная смесь кислорода с азотом.

Согласно воззрениям классической термодинамики, это явление является совершенно необратимым процессом. Но представим себе демона, который стоит около отверстия перегородки и может закрывать ее маленькой заслоночкой. Предположим, что он решил пропускать в одном направлении только молекулы кислорода, а в другом — только азота. Разве он не может путем сознательного выбора восстановить начальные условия, при которых кислород находится по одну сторону от перегородки, а азот по другую? Впервые Виллард Джиббс указал на то, что такое возвращение к начальным условиям может осуществиться и без помощи демона. Он объявил, что такое возвращение не невозможно, а лишь очень мало вероятно. Эта идея, развитая Больцманом около сорока лет тому назад, оказалась чрезвычайно ценным и, пожалуй, основным принципом современной физики. Ее полному признанию мешало только неправильное понимание природы света, но и это затруднение, по-моему, сейчас устранено.

Для того чтобы иллюстрировать современную статистическую точку зрения в термодинамике, представим себе новую колоду карт, рассортированную по мастям и расположенную в порядке: туз, король, дама и т. д. пик, туз, король, дама и т. д. трефф, и т. д. Такую последовательность карт легко запомнить и восстановить. Если вы разложите колоду перед собой, то половина ее будет черной — половина красной. Если такую колоду заложить в некоторую машину, приспособленную для тасовки и сдачи карт; то первые сдачи будут плохо стасованы и часть игроков получит изумительную карту; однако, если отыгранные карты опять поместить в машину, то через несколько сдач мы скажем, что колода растасовалась и от первоначального порядка не осталось ничего. Каждая случайная комбинация карт, получающаяся при их тасовке, имеет ту же априорную вероятность, что и первоначальная закономерная последовательность (по мастям и по старшинству). Это значит, что если мы после перемешивания карт отметим и запишем тот порядок, в котором они лежат в колоде, то вероятность того, что при дальнейшей тасовке повторится точно такая же комбинация карт, ничуть не более, чем вероятность того, что они окажутся разложенными по мастям и по старшинству. Однако, в то время как число возможных закономерных комбинаций карт, т. е. таких комбинаций, которые легко запомнить и записать, сравнительно невелико, число хаотических „трудноописуемых“ комбинаций огромно. При тасовке получаются новые и новые комбинации карт, при этом последовательные карты не стремятся к какому-либо определенному сочетанию, но среди огромного множества безличных хаотических комбинаций сколько-нибудь закономерные попадаются довольно редко. Если кто-нибудь из вас после сдачи в бридж

увидит на руках масть в 13 карт, то вы об этом, вероятно, будете рассказывать всем вашим знакомым, и я вас вполне понимаю, ибо это очень редкое отступление от обыденного потока „трудноописуемых комбинаций".

Во всем этом есть психологический элемент. Когда мы смотрим из окна на улицу Нью-Иорка и наблюдаем поток людей, вытекающий из выхода подземки, какое-нибудь мелкое событие может привлечь ваше внимание к группе из десяти человек. Мы замечаем их лица и их одежду... При этом они до некоторой степени становятся близкими нам, и нам даже кажется странным, что эти „наши" десять человек затеряются в толпе большого города, чтобы затем никогда не встретиться; а между тем каждый из них в толпе посторонних людей может считаться в любой момент членом группы из десяти человек, и такая группа отличается от первой только тем, что мы не знаем (не видели, не запомнили) ее членов.

Так как нахождение вероятности какого-либо сочетания лежит в основе второго начала термодинамики, я позволю себе начать с описания некоего прибора, представленного на рис. 24, который имеет два отростка в виде трубок, один из которых содержит десять белых, а другой десять черных шаров.[1] Если прибор повернуть так, чтобы шары смешались, а затем повернуть его обратно — так, чтобы шары заняли свое прежнее положение в отростках, то мы убедимся, что разве только после первого смешивания еще можно будет заметить влияние первоначальной сортировки, а затем шары будут оказываться в трубках расположенными совершенно случайно. Если смешивание повторять значительное

---

[1] Этот пример, равно как и некоторые другие рассуждения этой главы, заимствованы из интереснейшей книги: C. E. Guye. Physiko-Chemical Evolution.

число раз, то мы отнюдь не будем приближаться к равномерному распределению шаров (в каждом отростке по пять белых и по пять черных), наоборот, сочетания шести и четырех будут встречаться чаще чем пяти и пяти, но обычно число шаров показывает много большие колебания (флюктуации) около среднего значения. Впрочем, если у нас хватит терпения для того, чтобы повторить перемешивание двести или триста тысяч раз, то возможно, что мы получим первоначальное (рассортированное) распределение шаров.

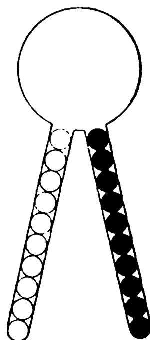


Рис. 24.

Если мы остановимся при этом и нанесем результаты наших наблюдений на графике, то мы получим некоторую зигзагообразную кривую, которая в начальной и конечной точках симметрична по отношению к времени, т. е. для нас несущественна разница между прошлым и будущим. Если двадцать шаров заменить миллионом белых и черных песчинок, то, казалось бы, перемешивание должно быть гораздо более полным. Однако флюктуации можно будет наблюдать и здесь, только они будут выражены менее резко. Если размеры песчинок уменьшить, а их число увеличить еще в огромное число раз, то мы получим полную аналогию смешения молекул кислорода и азота. И здесь точно также мы будем наблюдать флюктуации иногда малые, подчас большие, и даже раз в течение огромного промежутка времени можно будет наблюдать полное разделение двух газов. Точно также и здесь, если мы будем наносить число молекул в виде кривой и будем рассматривать участок от начального разделения газов до

вторичного, самопроизвольного разделения, то мы получим кривую, которая будет также симметрична по отношению к прошлому и будущему.

Однако все ли случаи необратимых процессов так же просты, как и этот? В течение многих лет я считал этот вопрос одним из наиболее заманчивых и мучительных научных вопросов. До тех пор, пока предполагалось, что излучение даже в случае одного атома происходит не вполне обратимо, этот процесс казался исключительным, не укладывавшимся в новое представление о необратимых процессах, как о перемешиваниях и тасовках, отличающихся только огромным количеством отдельных элементов или элементарных процессов. Однако, принимая новый взгляд на природу излучения, согласно которому процесс излучения заключается в обмене энергии между двумя атомами, в котором поглощающий и испускающий атомы играют совершенно симметричную роль, мы устраняем и это затруднение.

Таким образом, в утверждении, что всякая изолированная система, будучи предоставлена самой себе, стремится к положению равновесия, не оказывается ни крупицы правды. Система будет то приближаться, то удаляться от положения равновесия, при чем, в среднем, столько же раз в одну сторону, сколько в другую. Только в том случае, когда исходное состояние системы очень далеко от состояния равновесия, т. е. мы исходим из системы с некоторым упорядоченным строением, а затем мы следим за изменением системы в течение некоторого относительно короткого промежутка времени, система, как правило, будет стремиться в сторону менее упорядоченных „трудноописуемых“ состояний.

В настоящее время второй закон термодинамики является одним из наиболее мощных из общих законов природы. Он начинает доминировать в химических и

биологических науках, и область его применения простирается от чистой науки до различных отраслей техники. Однако, тем не менее, когда мы заглядываем за кулисы, то нам кажется, что все это надувательство, вроде глупого клоуна, выряженного в царскую горностаевую мантию. Отшелушив основную мысль второго начала из массы украшений и осложнений, мы убеждаемся в том, что она гласит: „Если колода карт пропускается через тасовальную машину, то вероятно она выйдет из машины растасованной“.

Если это открытие и приносит нам некоторое разочарование, то только потому, что нас пичкают с детства заплесневелым суеверием об абсолюте. Мы говорим: „если этот великий закон не всегда правилен, то что же получится из наших других точных законов?“ Но неужели же мы не можем оценить какое-нибудь положение, не делая ребяческих допущений о его непогрешимости? Неужели мы не можем осознать, что точные законы, как и все прочие истины и абсолюты,—такие же басни, как золото из сажи или конец радуги? Мы ощущаем необычное удовлетворение, пересекая день за днем красивую и плодородную страну, куда мы зашли в погоне за блуждающим огнем. И только когда кто-нибудь крикнет: „Я поймал его“ —мы чувствуем горечь разочарования.

Наше почтение к великому закону энтропии не должно умаляться тем, что у него есть свои исключения, и также тем, что он может быть выражен в такой форме, что будет представляться совершенно очевидным. Надо только припомнить, что весь богатый материал эвклидовой геометрии может быть выведен из простейшего допущения о том, что существуют круг и параллельные линии. Только искусственные и претенциозные утверждения можно поколебать бесцеремонным отно-

шением. Закон энтропии только выигрывает от того ограничения, которое мы на него налагаем. В новой форме второй закон гласит: „Изолированная система стремится к увеличению энтропии в тех случаях, когда она настолько далека от состояния равновесия, что вероятными флюктуациями ее можно практически пренебречь“.

Закон природы делается более ценным оттого, что мы можем предсказать его исключения. Если кто-нибудь вам скажет, что солнце будет всходить и заходить вечно, вас не введет в заблуждение непреложность этого утверждения.

Вы знаете, что то здесь, то там среди множества звезд происходят бурные катастрофы, разрушающие старые и создающие новые солнечные системы. Если, путем вычисления средней частоты подобных катаклизмов или же путем изучения движения всех тел по соседству с солнечной системой, вы сможете предсказать, что земля находится в безопасности на ближайший триллион лет, то это утверждение гораздо более ценно, чем тривиальные заключения о том, что солнце будет всходить и заходить вечно.

Теперь я позволю себе еще раз вернуться к понятию о времени. Если вы согласны со мной в том, что в механике не существует различия между прямым и обратным ходом времени (как пример приведу ту же солнечную систему); что в элементарных процессах, имеющих место между отдельными атомами (даже в случае обмена лучистой энергии), сохраняется симметрия прошлого и будущего, то сможете ли вы поверить в такую асимметрию в случае так называемых необратимых процессов? Какой мистический элемент мы должны ввести при переходе от двух или трех атомов к миллиону или большему числу их? Мы видели, что необратимых про-

цессов, по существу говоря, вообще не существует и что ощущение мистичности является у нас как результат нашего плохого знакомства с большими числами. Отсюда мы можем заключить, что ни в одной из областей физики, включая и термодинамику, нет необходимости вводить какое-либо различие между прошлым и будущим, или какое-нибудь новое представление о времени кроме того, которое мы назовем „временем обоих направлений" и которое мы можем рассматривать просто как одно из измерений нашего четырехмерного мира кинематики.

Откуда же в таком случае возникает необыкновенная асимметрия по отношению к прошлому и будущему, с которой мы сталкиваемся в повседневной жизни? Одним из источников этой асимметрии является непрерывный поток энергии от солнца. Дело обстоит так, как будто в нашу грандиозную тасовальную машину поступил непрерывный поток новых, сложенных в порядке колод, и у нас, наблюдающих их непрерывный поток и изменение их порядка в случайную последовательность, создается такое же ощущение, как у мельника, который наблюдает вращение наливного колеса, приводимого в движение горным ручьем. Он не спрашивает, откуда приходит вода, вращающая его колесо. Точно так же и мы не знаем до сих пор источников космической энергии.

Является ли приведенное объяснение исчерпывающим основанием для представления о времени одного направления? Мы видели выше, что представление о времени одного направления частично возникает за счет некоторой „направленной" последовательности, являющейся свойством нашего сознания, а частью за счет резко выраженной асимметрии между прошлым и будущим в явлениях окружающего нас мира.

Мы узнаем о направлении движения лодки по зеркальной поверхности озера, по тому следу, который она оставляет за собой. Точно так же и наши мысли оставляют след в нашей памяти, и то тут, то там мы видим проблески такого же явления и у других живых существ. Опять-таки, когда мы остановимся на тех катастрофических событиях, которые особенно плохо вяжутся с представлением о времени, текущем вспять, то мы можем убедиться, что не всегда, но в большинстве случаев эти события сводятся к внезапному разрушению сложных образований, созданных мало-по-малу людьми или иными живыми существами. Все это заставляет нас искать именно в живой природе причину нашего представления о необратимости времени. Остается пожалеть, что в живом мире не найдено группы явлений, которые могли бы быть сведены к термодинамике так, как она сводится к механике.

Мысль о том, что живые существа не подчиняются закону энтропии, принадлежит Гельмгольцу, хотя задолго до него Кельвин [1] писал по поводу второго начала: „Невозможно с помощью одних неодушевленных предметов получить механическое действие“. Небольшое количество экспериментов, выполненных с целью изучить изменение энтропии в системах, содержащих живые организмы, не привело ни к каким положительным результатам.

Борель [2] приводит весьма занятный пример, имеющий отношение к затронутому нами вопросу. Представим себе миллион мартышек, барабанящих по клавишам миллиона пишущих машин. Какова вероятность того, что в результате этой нелепой забавы будет на-

[1] W. Thomson. Dynamikal Theory of Heat.

[2] Emile Borel. Le Hazard. (Случай, „Элементы теории вероятности“; есть русск. пер. изд. ГИЗ'а).

печатано в точности все содержание томов, заключенных в библиотеке Британского музея? Конечно, этот шанс невелик, но грубый подсчет показывает, что он значительно больше, нежели вероятность того, что смесь кислорода с водородом случайно опять разделится на два чистых компонента. После того как мы научились оценивать весьма малые шансы и побороли свой страх перед числами, которые много больше или, наоборот, много меньше обычно употребляемых, мы сможем перейти к вычислению еще меньших вероятностей и даже рискнем посмотреть на живую клетку, как на результат случайной комбинации атомов.

Однако при этом мы неминуемо почувствуем, что мы слишком далеко зашли с экстраполяцией. Это чувство происходит не только от сознания огромной сложности строения живой природы, но главным образом от того, что весь ход жизни, весь процесс возникновения все более и более сложных живых организмов, т. е. то, что мы называем эволюцией, резко отличается от того, что мы могли ожидать от закона вероятностей.

Представим себе одну из наших тасовальных машин, и пусть она в первой сдаче сдаст на одну руку четыре карты одной масти, а затем повторит то же во второй раз. Мы найдем, что это исключительное совпадение, но если машина будет продолжать такую же сдачу, то мы скажем, что она не вполне исправна. Все наши приложения теории вероятности к термодинамике были основаны на допущении, что в изучаемых в этой науке явлениях имеет место случайное перемешивание, и грандиозные достижения термодинамики подкрепляют это предположение. Но все эти достижения относятся к области физики и химии. После наших умозаключений в области геометрии, в результате которых пришлось для объяснения некоторых частей механики при-

нять искривленную, а не плоскую геометрию, мы должны быть подготовлены при попытках дальнейшего приложения теории вероятности к принятию „искривленных“ [1] тасовальных машин на ряду с „прямолинейными“.

При этом мы оказываемся лишенными могучей поддержки математических вычислений. Однако наблюдения над одушевленной природой приводят к твердому убеждению, что здесь в наше рассмотрение должен быть введен новый элемент, чуждый случайности, характеризующей физические процессы. Живые существа несомненно плутуют в игре физики и химии. В самом деле, ведь одни живые существа отстаивают свою индивидуальность среди могучих выравнивающих сил великой демократии атомов. Не стоит отрицать того, что при рассмотрении огромной лестницы живых существ мы постоянно будем наталкиваться на отступления от закона энтропии, так как в могучем потоке необратимых процессов много легче плыть по течению, чем против него.

Однако то здесь, то там можно заметить небольшие водовороты в этом потоке, которые мы назвали флюктуациями около среднего состояния. Эти флюктуации заметны нам не более, чем волны океана авиатору, но ведь живые организмы стоят на самых разнообразных

---

[1] Такую искривленность не следует путать с понятием о неравной вероятности. Если в закрытой коробке заключено сто белых и сто черных шаров, мы легко можем вычислить вероятность того, что десять первых шаров, вытащенных человеком с завязанными глазами, окажутся белыми. В том случае, когда в коробке находится сто белых шаров и сто десять черных, вероятность такого же события вычисляется с несколько большим трудом, однако это вычисление может быть выполнено с тою же точностью, что и предыдущее. Однако если человек, вытаскивающий шары, ощущает на ощупь некоторую разницу между белыми и черными шарами, то мы не можем сделать никаких подсчетов, относящихся к результатам вытаскивания.

ступенях развития. Пытаясь создать очень грубую градацию живых существ, можно сказать, что человек так относится к мухе, как муха к микробу, как микроб к мельчайшим организмам, называемым фильтрующимися бактериями или фагами, которыми в последнее время заинтересовались бактериологи, и, наконец, как эти организмы к органической молекуле. И вот эти-то мельчайшие организмы, или мельчайшие клетки более сложных организмов, способны выбирать нужные им молекулы, или использовать те флюктуации, которые, будучи незаметными для нас, представляются им грандиозными мальстремами. Разве это не более удивительно, чем то, что домашняя птица подбирает зернышки или что орел парит, поднимаясь все выше и выше, пользуясь малейшими дуновениями ветра?

Может быть, многим покажется странным то, что я не ограничиваю объем этой книги теми областями знания, с которыми я в той или иной мере знаком, но я в последней главе затрагиваю биологические проблемы, с которыми я знаком в чрезвычайно малой степени. Поэтому я в следующей главе еще раз подчеркну, насколько ничтожно мала разница между живой и мертвой природой. Надо надеяться, что беглый взгляд на отличительные черты живых организмов не затемнит, а, наоборот, просветлит в нашем понимании некоторые представления из области неорганических наук.

VII. НЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ.

Шесть глав из семи я посвятил математическим наукам и наукам, требующим математического фундамента. И если кажется, что я придаю им слишком много значения, то только потому, что они требуют для своего обоснования меньшего количества утонченных представлений по сравнению с науками, мало зависящими от математики и покоящимися на независимых основах. Такое разделение выбрано мною, конечно, не потому, что я считаю не математические науки менее ценными. Эти науки заключают в себе большое количество разрозненных представлений, которые мало чем отличаются от сырого материала опыта, лежащего в их основе, и характеризуются меньшей утонченностью своих отвлечений и идей. В качестве примера разберем представление о материи: материя не определена полностью как научное понятие. Если бы мы определили ее как нечто имеющее массу, нам пришлось бы отнести к материи и свет. Натурфилософы недавнего прошлого говорили о невесомых субстациях вроде тепла, света и электричества; но все это, как известно в настоящее время, обладает весом. Приступая в этой главе к сложной области явлений, мы не должны смущаться несовершенством нашей терминологии: и без этого достаточно много материала, о котором нам придется подумать. Динамика развилась на основании изучения только одного свойства материи: именно ее массы или

веса. Сотни других ее свойств не были приняты во внимание. Однако описание колибри будет неполным, если мы скажем, что ее вес равняется десяти граммам.

Различные объекты обладают разнообразными свойствами. Нам необходимо искать в них черты постоянства или тождества. Легко заметить, что лед и вода, несмотря на внешнее их различие, имеют между собой нечто общее. Подобным же образом мы находим, что действие огня и кислот на статую Праксителя совершенно аналогично действию тех же факторов на глыбы мрамора, из которого она изваяна. Эти внутренние свойства не зависят от внешней формы и вида и служат основой классификации огромного разнообразия веществ, из которого химии удалось анализировать и привести в систему, вероятно, не менее двухсот тысяч. Но это число представляет лишь ничтожную часть всех комбинаций, встречающихся в лаборатории или в природе.

Помимо исследования многообразия химических веществ люди всегда стремились получить более простые представления, стремились к единству. Элементы греков: земля, воздух, вода и огонь; ртуть, соль и сера алхимиков оказались неудачными попытками в этом направлении. Роберт Бойль, один из великих современников Ньютона, первый дал удовлетворительную классификацию веществ. Он показал, что все многочисленные сложные вещества могут быть получены комбинированием небольшого числа элементарных субстанций, что и явилось основой современной химической классификации, хотя, как мы видим, этот взгляд не предусматривает разложения самих элементов. Проутс предвидел, что все вещества можно свести в конце концов к водороду. Его догадка оправдалась только в настоящее время, после того как было показано, что вся доступ-

ная нашему изучению материя мира состоит из протонов и электронов. Мы получили возможность анализировать не только вещества, находящиеся под руками, но благодаря спектральному анализу узнали, что, за исключением очень немногих загадочных линий спектра, излучение солнца и звезд вызвано теми же известными нам элементами. Благодаря огромным достижениям современной телескопии, звездный мир стал гораздо у́же, чем он был раньше. Вслед за тем, как было установлено, что миллионы соединений составлены приблизительно из ста элементов, последовало открытие, что каждый из этих элементов состоит из двух субэлементов. Сознание того, что я, вы и звезды не что иное как протоны и электроны, мало чем помогает в разрешении проблемы состава белка. Не будем слишком самоуверены. Не убедились ли мы в прошлой главе в беспомощности великой механики перед лицом больших чисел? Не заставило ли это нас обратиться к вспомогательным методам термодинамики? Изучая химию, мы долго еще будем пользоваться методами, мало чем отличающимися от алхимических.

Следующий большой этап в химической классификации, после работ Бойля, был пройден благодаря изучению явления окисления, которое прежде называлось флогистонизацией и дефлогистонизацией. Я показал,[1] что эта классификация является не абсолютной, а лишь приближенной, тем не менее она остается и будет оставаться руководящей идеей химии. Последователи учения о флогистоне не могли удовлетвориться одной идеей, им необходимо было дать представление о механизме явления. Для этого был введен гипотетический флогистон, и все упомянутые процессы сводились к

---

[1] Lewis. Валентность и структура атомов и молекул.

приобретению или потере почти невесомого вещества. Но этот механизм не оправдался. Предполагалось даже, что воздух не является химическим реагентом и что любой процесс горения заключается в потере флогистона. Когда было найдено, что при горении тела увеличиваются в весе, теории флогистона пришлось уступить место теории окисления. Если бы мы ограничились утверждением, что „сгорая, вещество отдает свой флогистон и соединяется с кислородом воздуха", теория флогистона никогда не была бы опровергнута. В самом деле, курьезным оказался тот факт, что не только новая классификация, но и старый механизм горения до сих пор не опровергнуты. В последние годы мы пришли к тому, что всякий процесс окисления и восстановления заключается в потере или присоединении невесомой субстанции, которую мы, правда, называем не флогистоном, а электронами.

Весовой анализ внес в химию количественную и вместе с тем математическую основу. Открытие закона кратных отношений привело Дальтона к его атомистической теории. Я не буду останавливаться на дальнейшем развитии этой идеи, ни на том, как яснее становилось представление об атоме, как в конце концов мы получили возможность делить и его на составные части. Многие детали атомистического представления до сих пор являются неясными, однако в общих чертах это учение принято огромным большинством ученых. Сравним методы, которыми пользовались физики и химики, вырабатывая атомистическую точку зрения. Физики исходят из очень небольшого количества, но зато очень точных измерений: они находят уравнение, в которое вкладываются эти измерения с точностью до одной миллионной. Дальше им удается показать, что простая модель, подчиняющаяся классической механике или

электродинамике, объясняет наблюдаемые явления. Исходя из этой простой модели оказалось возможным перейти к более сложным, с большим количеством составных частей, а иногда и вычислить возмущение, вызываемое одной составной частью в другой. И так, основываясь на этой модели как на базе, физик исследовал неизвестный мир. Химический метод в корне отличен от описанного. Он, если можно так выразится, сходящийся, тогда как физический — расходящийся. Полученные при его помощи данные менее точны, но зато гораздо более многочисленны. В массе они представляют собой грубые измерения, большая часть которых имеет даже не вполне количественный характер. Химик основывается на тысяче различных веществ, наблюдая их свойства и делая соответствующие схематические обобщения, вроде закона Менделеева. Посредством изучения сложных молекул химики стремятся проникнуть в самое сердце атома.

История развития науки показывает, что нельзя отдавать предпочтение тому или иному методу изучения при оценке научных достижений. Однако последователи первого из этих методов смотрят с пренебрежением на результаты второго. При всем изяществе и точности их экспериментов они забывают о том, как трудно разбираться химику среди хаоса соединений и химических соотношений. Несколько лет тому назад я открыл универсальную способность электронов соединяться попарно у атома и у молекулы. Это заключение в настоящее время принято почти всеми химиками. Однако оно видимо не согласуется с некоторыми представлениями о стабильности, благодаря чему, насколько я знаю, оно не было принято полностью ни одним из известных мне физиков. Вместе с тем не только данные химии, но и работы физиков в области ионизацион-

ных потенциалов и спектроскопии показывают особенно большое различие между элементами, имеющими четное и нечетное количество электронов во внешнем слое атома.

Приходится сознаться, что наука имеет свои касты. Человек, оперирующий с дифференциальными уравнениями, смотрит свысока на экспериментатора с его гальванометрами, а этот последний с презрением — на возящихся с грязными и вонючими веществами в пробирках. И все они вместе и большинство биологов в их числе объединяются в своем презрении к париям, наблюдающим не через дымчатые очки, а простым острым глазом грозовое облако на горизонте, птиц выводящих птенцов или роящийся пчелиный улей. Иногда мне кажется, что наши лаборатории подобны небольшим землянкам, часто теряющим из вида высоты Олимпа. Мы, работающие в этих лабораториях, кажемся менее ловкими ремеслинниками по сравнению с человеком, имеющим способность наблюдать и делать правильные выводы из наблюдений внешнего мира.

Органическая химия представляет собой одну из наименее связанных с математикой наук. Теория стереохимии требует не большего знания математики, чем у ребенка, удачно строящего карточные домики. Весы служат лишь в качестве полезного помощника, точный анализ является побочным, а не прямым методом в изысканиях органической химии. Эта наука, подобно биологии, развивалась при помощи двойного метода классификации. С одной стороны, изучались активные свойства веществ, с другой — их генетика, их отношение друг к другу. Выясняется, что новое вещество создается из ранее известного. Из него, в свою очередь, создаются новые, и т. д. Часть этих веществ может быть получена из других исходных материалов, и таким

образом с помощью нитей промежуточных состояний удалось свить весь запутанный клубок этой науки. Атомистическая теория дала возможность создать модели в начале простейших, а затем и более сложных молекул. Рис. 25 иллюстрирует приемы стереохимии. Атом водорода (H) одновалентен, кислород (O) имеет две, азот (N) обыкновенно три, и углерод (C) четыре валентности. Таким образом водород может быть связан лишь с одним, кислород с двумя атомами, и т. д.

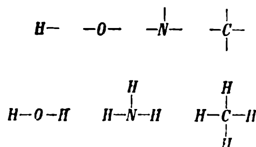


Рис. 25.

При помощи различных химических реакций имеется возможность замещать один атом или целую группу другими, при чем, как показано в большинстве таких замещений, структура остальной части молекулы не изменяется. Это дало возможность разлагать или синтезировать сложные молекулы неизвестного строения.

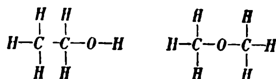


Рис. 26.

Иногда две молекулы, как это показано на рисунке 26, состоят из одних и тех же атомов, образующих различные группировки. Такие молекулы называются изомерами. Число возможных изомеров, которые можно составить из определенного числа атомов, увеличивается очень быстро с числом этих атомов. При введении новых составных элементов количество таких возможных изомеров вскоре достигает огромного числа. Молекула, состоящая всего из ста атомов, могла бы быть представлена в таком количестве комбинаций, что для написания всех ее формул потребовалось бы больше книг, чем их имеется во всех библиотеках мира. Многие из молекул животного происхождения содержат тысячи

атомов, и здесь мы имеем интересный случай почти бесконечного разнообразия, которое мы познаем, исходя из конечного и даже ограниченного числа элементов. Так, переходя от простых соединений к комплексам сложного строения, мы видим, что разница между каким-нибудь веществом и его ближайшими соседями становится все меньше и меньше. При этом замещение одних атомов другими или целыми группами, несмотря на то, что каждое из таких замещений дает определенное вещество, приводит к ряду веществ, настолько мало отличающихся по своим свойствам и образующих такой плавный переход, что у ловкого органика имеется полная возможность настолько тонко варьировать свои комбинации, как будто он имеет дело с пластическим материалом.

Органик, приобретая новые сведения и навыки в своем искусстве, — а это действительно своего рода искусство, — входит вместе с тем в интимную близость с предметом изучения. Это его приводит к некоторым обобщениям и к большому числу рабочих методов, имеющих ограниченное и спорадическое применение, а также к многочисленным смутным догадкам и хитроумным комбинациям, которые и трудно и не стоит сравнивать с методами других наук. В самом деле, не все его познания укладываются в его научном сознании, так что эта особенность даже получила специальное название „химического чутья". Вместе с тем поразительна та точность, с которой органик предсказывает свойства объектов, которых он не видел, или описывает продукты никогда не выполненных реакций. Любопытно, что только небольшое число принятых для различных молекул в органической химии структурных формул подвергалось сомнению. Некоторое замешательство внесли работы Пастера, потребовавшие объяснения так

называемых оптических изомеров, вполне подобных по своим химическим и физическим свойствам и имеющих равное количество одинаковых атомов, но вращающих плоскость поляризации в диаметриально противоположных направлениях. Однако Ле Белье и Вант-Гофф показали, что предложенная новая модель тетраэдрического строения углеродного атома предусматривает это явление. На рис. 27 показаны две структурные формулы этой молекулы. Они подобны друг другу, как человек своему изображению в зеркале, или как перчатка с правой и левой руки. При случайной встрече четырех атомов в тех условиях, при которых они могут соединиться, каждая из ориентировок одинаково вероятна. Это один из лучших примеров чистой случайности. Отсюда следует, что в процессе образования многих миллионов молекул небольшой перевес в количестве право- или лево-вращающих молекул был бы небывалым отклонением от среднего. Действительно, в реакциях, в которых исходные материалы сами не состоят главным образом из право- или лево-вращающих изомеров и которые не ведутся в обстановке, стимулирующей образование последних, никогда не было замечено такого перевеса в числе изомеров того или другого типа.

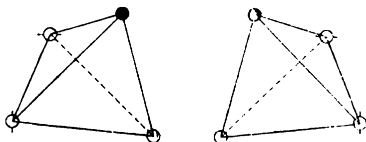


Рис. 27.

Если оба изомера могут явиться продуктами реакции, то они образуются в одинаковых количествах. При кристаллизации растут кристаллы обеих модификаций, но тоже в одинаковых количествах. Произведя в них отбор, мы можем, как Пастер это и сделал, выделить

тот или другой вид и получить таким образом право- или лево-вращающие изомеры. Но отбор этот будет совершенно произвольным. В высшей степени интересен тот факт, что не только мы, но и другие существа обладают такой возможностью выделить тот или другой изомер, тогда как разделение последних под действием неорганической природы было бы необычайной случайностью. Нет, вероятно, ни одной живой клетки, которая не содержала бы нескольких тысяч оптически активных веществ. Это является одним из самых выдающихся свойств живых организмов. Главное количество органических комплексов обязано своим существованием животным процессам. Правда, разделение на органическую и неорганическую химию, существовавшее раньше, лишилось основания после того как Велером было показано, что типичное органическое вещество может быть синтезировано в лаборатории. Но все же Велер представлял собой живое существо, и то, что создал лабораторным путем, является как бы продуктом живого организма. Если какое-нибудь существо могло бы познать наш мир без всякого вмешательства человека и микробов, то оно вряд ли смогло бы даже подозревать об огромной области органической химии.

Мы уже видели, как различные категории науки, вначале резко разграниченные друг от друга, мало-помалу сливаются и как в каждой классификации после каждого нового анализа открываются надуманные учеными черты, которые нельзя расценивать иначе, как лишнее ограничение.

Что сможем мы теперь сказать по поводу первоначального подразделения науки на учения об одушевленной и неодушевленной природе? Обладают ли живые организмы такими свойствами, которых нет у скал, или свойства у них те же и различаются лишь в степени?

В самом деле, можно ли свести всякое различие в качестве к количественному различию? Трудно ответить на эти вопросы, но мне все же хотелось бы хоть несколько на них остановиться.

Я уже упоминал, что поведение живых существ является своего рода жульничеством в игре энтропии. Они одни кажутся способными сломать великий поток необратимых процессов. Эти процессы разрушают, живые организмы создают. В то время как вся остальная часть мира стремится к более низким уровням единства, эволюция живого организма создает новые существа и все более и более сложные формы. Есть ли однако возможность найти точки соприкосновения между одушевленным и неодушевленным миром?

Живые существа были охарактеризованы как обладающие способностью репродукции, но этим свойством в меньшей, правда, степени обладают кристаллы. Если в стакан с пересыщенным раствором гипосульфита натрия я брошу маленький кристалл, из него вырастет большой. Я могу взять кусочек последнего и опустить его в другой стакан, и явление повторится. Несколько лет тому назад нашей лаборатории понадобилось изучить некоторые свойства кристаллического глицерина. Мы всеми известными способами пытались выкристаллизовать глицерин, но безуспешно. Однако мы узнали, что в Британской Колумбии имеется в одном из складов некоторое количество кристаллического глицерина. Как только мы его привезли, сразу же лаборатория была заражена кристаллами глицерина, и больше никогда не встречалось трудностей в его кристаллизации, хотя бы работа велась с материалом совершенно различного происхождения.

Известно любопытное явление, называемое оловянной чумой. В холодных странах органные трубы, крыши

и другие предметы, сделанные из олова, часто рассыпаются в пыль, и приходится устраивать своего рода карантин для того, чтобы предотвратить распространение этой эпидемии уже зараженными предметами. Это объясняется тем, что при низких температурах более стабильной формой олова является серая его модификация, и когда последняя приводится в соприкосновение с обыкновенной, она растет как кристалл в пересыщенном растворе.

Соль часто кристаллизуется в различных модификациях; но эти последние сохраняются на протяжении целых веков, и кристаллы, получаемые нами в лаборатории, совершенно неотличимы от тех, которые мы находим в геологических отложениях. Однако лошадь, хотя и на первый взгляд мало меняется от одного поколения к другому, очень сильно отличается от своего пятипалого предка, и этот последний, в свою очередь, имеет мало сходства со своим предком из рептилий, жившим в эпоху солевых образований, о которой только-что говорилось. Я буду принужден позднее представить свои оправдания за нарушение одного из самых священных табу биологии, за утверждение, что существенная разница между репродукцией в кристаллах и организмах заключается в том, что последние производят новых индивидуумов, передавая им вместе с тем приобретенные ими свойства.

Довольно просто создать такую отвлеченную классификацию, но знаем ли мы такие примеры, которые бы точно с ней согласовались? Разве немыслимы точки соприкосновения между живой и неодушевленной природой, как я уже предполагал раньше? Рассмотрев процесс кристаллизации, обратим наше внимание на аналогичное явление, все еще носящее в себе много загадочного. Давно уже было известно, что химические

процессы необычайно ускоряются в присутствии незначительного количества посторонних веществ. Это замечательное явление носит название катализа; но, как сказал бы Пуанкаре, „это не обозначает собой разрешения трудности вопроса, но лишь признание его“. Все же, давая название явлению, мы тем самым указываем на признание существования определенных фактов и их общезначимость, а когда задача ясно поставлена, мы уже тем самым вступаем на путь к ее разрешению.

Наиболее интересным видом катализа представляется тот случай, когда реакция ускоряется одним из своих продуктов, так что проходит много времени, пока произойдет какое-либо изменение; но достаточно начать образовываться этому продукту реакции, или внести его извне, как дальше процесс пойдет все быстрее и быстрее. Долгое время об автокатализе вообще ничего не знали, но теперь обнаружено, что он является исключительно частым явлением, и несомненно в недалеком будущем мы еще больше о нем узнаем. По временам приходится иметь дело с явлениями, иногда довольно гипотетичными.

Предположим, что определенное органическое вещество может получаться при данных условиях, но реакция не может начаться, пока нет ни одной молекулы вещества, с появлением которого число образующихся молекул начнет возрастать, пока не истощится весь маточный раствор. Мы предполагаем, что все эти молекулы идентичны по строению и структуре с введенной первоначально. Допустим далее, что изомер этого вещества, т. е. вещество, состоящее из тех же атомов, но в другой группировке, тоже будет воспроизведен в том же растворе. Так исходя из одного или другого изомера, мы можем выделить его, вводя новое вещество в раствор. Или, если они оба могут полу-

чаться вместе, мы можем культивировать или выделить тот или другой изомер и получить его в чистом виде.

Молекулы таких изомеров могут случайно переходить из одного вида в другой. Возможно, что путем столкновения с соседней молекулой атомная группа может перейти в другую аранжировку. Тогда исходя из одной модифакации, после целого ряда культур, мы можем внезапно получить и вторую, получающуюся как мутация, а появление последней увеличит вероятность образования себе подобных. Если бы было лишь два изомера, мы могли бы случайно получить то тот, то иной. Но предположим, что мы имеем перед собой сложную органическую молекулу, с практически бесконечным числом изомеров, тогда вероятность возвращения к первоначальному виду была бы очень мала. Эволюция тогда бы представилась нам как процесс, в котором каждая молекула в точности воспроизводит подобную себе, пока вследствие случайной перегруппировки не появилась бы новая молекула, начавшая воспроизводить уже свой вид.

Разве это не было бы воспроизведением с передачей приобретенных свойств? Вы можете осмотрительно отнестись к моим терминам, почерпнутым из биологии, но предположим, что нам удалось бы произвести этот гипотетический эксперимент, не столь уж невероятный. Допустим, далее, что мы могли бы проследить всю цепь явлений, связывающую очень мало различающимися звеньями простейшие организмы с наиболее высоко стоящими на ступенях своего развития. Должны были бы мы тогда сказать, что процесс создавания этой книги есть лишь химическая реакция или, наоборот, что кристалл думает о принципах науки? Это было бы крайне абсурдно, и я еще раз заявляю, что, возражая против нерушимости наших категорий, я не считаю их менее

значительными только потому, что они не являются абсолютными. Взаимодействие двух тел подчиняется законам механики. Взаимодействие же биллионов тел повинуется статистическим методам термодинамики. Это те же тела, и ведут они себя, вероятно, точно так же, но при изучении огромного числа их выплывают наружу новые многочисленные явления, которых мы никогда бы не могли себе представить при изучении взаимодействия двух тел.

Разрешите мне теперь оправдаться в моих смелых утверждениях, а именно: что самым отличительным свойством живых организмов является их способность передавать по наследству приобретенные ими признаки. Несмотря на то, что это положение не может и не должно быть безоговорочно принято, пока не выяснен самый механизм приобретения новых свойств, все же я рискну затронуть этот один из наиболее спорных в биологии вопросов. Животное вследствие своих привычек и влияния окружающей среды испытывает непрерывные изменения в течение своей жизни. Некоторые из его мускулов, например, делаются более сильными благодаря постоянному упражнению; животное всегда приспосабливается к внешней среде, в которой оно живет. Одно время предполагалось, что такие благоприобретенные индивидуальные признаки могут в значительной степени передаваться по наследству; так, например, давая возможность целой разновидности приспосабливаться к меняющимся условиям среды, можно производить более быстрый отбор видов, чем это имеет место в природе, и независимо от нее. Эта теория была отвергнута новой биологией. Действительно, многочисленные опытные данные, собранные по этому вопросу, свидетельствуют о том, что передача по наследству благоприобретенных признаков маловероятна.

Наблюдаются, правда, несколько странных случаев, требующих еще объяснения. При изучении древних становищ человека было замечено, что в каменном веке, когда пища употреблялась в своем естественном виде, зубы человека были очень велики и сильны, и в каждом дальнейшем периоде они видоизменялись сообразно изменению условий питания. Изменение кажется слишком быстрым, чтобы его можно было приписать наследственной приспособляемости; слишком сильные зубы, в которых нет нужды, вряд ли представляли бы собой серьезное преимущество. Однако здесь имеется еще много неизвестных факторов, и точный последователь Вейсман мог бы, наоборот, утверждать, что изобретение мельницы и печи последовало за уменьшением силы зубов и было порождено этим обстоятельством.

В общем же противники теории наследования благоприобретенных признаков, в том узком смысле, какой мы здесь приписываем этому понятию, имеют, мне кажется, больше доводов в свою пользу. Они находят основание не только в опыте и наблюдении, но и во всем развитии биологических теорий.

В сообществе из тысяч индивидуумов только одному удается стать родоначальником нового поколения (за исключением разве того случая, когда работник инкубатора искусственно выводит молодое поколение). Растения и животные составлены из миллиардов клеток, необходимых для поддержки существования организма, нотолько немногочисленные клетки зародыша служат для продолжения рода. Однако взаимодействие между этими обоими видами клеток значительно большее, чем это обычно предполагается. Трудно ожидать, чтобы изменение в рабочих клетках не сказывалось на наследственности. Идея „независимости зародышевой плазмы“ стоит в полном согласии с достижениями биологии последних

дней, получившей, благодаря открытиям закона Менделя и изучению хромозом, такой же толчок вперед, как механика после работ Галилея и Ньютона.

Можно полагать, что каждый индивидуум, равно как и каждая типичная клетка, имеет дуалистическую природу. Различные факторы наследственности попарно передаются клетке.

С другой стороны, клетки, служащие специально для размножения, получаются в процессе деления таким образом, что каждая из них обладает лишь половиной всех признаков. При соединении таких материнских и отцовских клеток приобретаются характеристические признаки обеих пар, но новый организм уже получает по наследству лишь половину свойств матери и отца. Нужно полагать, что у одной или другой пары материнских или отцовских клеток совершенно одинаковые шансы образовать наследника. Это и есть грубое выражение закона Менделя, сводящего всю науку генетики к простой задаче теории вероятности.

Как часто случается в науке, этот закон был почти забыт, пока не был открыт механизм, который мог его объяснить. Новейшие исследования хромозом внесли в биологию нектоторую степень единства, аналогично тому единству, которое приобрела химия в связи с изучением атомов и субатомов. Подобно тому как в звездах и на земле найдены одни и те же атомы, генетиками был открыт механизм наследственности, единый для всех высших организмов. Хромозомы животных и растений настолько сходны друг с другом, что даже опытный наблюдатель, рассматривая их под микроскопом, часто может ошибиться, приняв один вид за другой. Закон Менделя явился не только сильным побудителем дальнейшего исследования, но он оказал большое влияние на практику животноводства

и растениеводства. Все же, если мы зададим себе вопрос, является ли этот закон истинным, другими словами, в точности ли он совпадает со всеми возможными случаями, то ответ, вероятно, будет отрицательным. Закон гласит, что признаки любого поколения определяются признаками предков чисто статистически, и ничего более.[1] Наблюдения Тоуера над получением видимо новой разновидности картофельного жука при размножении последнего в охладителях не подтвердились с достаточной убедительностью. Все же, повидимому, не может быть и речи о том, чтобы окружающая среда не имела определяющего влияния на направление наследственности. Даже и это явление, вероятно, можно согласовать с законом Менделя, если принять во внимание, что естественный отбор должен производиться среди самих зародышей, между которыми „много званых, но мало избранных". Однако очень вероятно, что дальнейшие исследования дадут возможность показать, исходя из общего закона, что наследственность всецело определяется случаем. Все же, если все силы биологии направлены на то, чтобы уподобиться химии и физике, то это желание можно заранее считать выполненным.

Так мы видим, как каждый закон физических наук замещается с течением времени другим, более общим или более точным. Этот процесс можно ожидать на всем протяжении развития науки. Точно также и закон Менделя и основы биологического знания представляют собою лишь первое приближение в понимании наследственности. В свою очередь, за этим приближением последует второе, третье и т. д., и это будет продолжаться до тех пор, пока мы будем стремиться к отдаленному горизонту научной истины.

[1] „Записки института Карнеджи", № 48, 1906.

СОДЕРЖАНИЕ.